

**Untersuchungen zum Einfluß selektierter arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMP)
und assoziativer Rhizosphärenbakterien einzeln und kombiniert
auf das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen für den urbanen Bereich**

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum horticulturnarum
(Dr. rer. hort.)

eingereicht an der
Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
der Humboldt-Universität zu Berlin



von
Dipl. Ing. hort. Mareile Jahn
geb. am 23.10.1969 in Herzberg/Elster

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. Dr. h. c. H. Meyer

Dekan der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
Prof. Dr. Dr. h. c. E. Lindemann

Gutachter: 1. Prof. Dr. habil. G. Höflich
2. Prof. Dr. sc. H.-G. Kaufmann

Abstract

Jahn, M.:

Untersuchungen zum Einfluß selektierter arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMP) und assoziativer Rhizosphärenbakterien einzeln und kombiniert auf das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen für den urbanen Bereich

In mehrjährigen Gefäß- und Feldversuchen wurde der Einfluß von selektierten arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) und assoziativen Rhizosphärenbakterien (*Pseudomonas fluorescens* PslA12, *Agrobacterium rhizogenes* A1A4, *Rhizobium trifolii* R39, *Stenotrophomas maltophilia* PslB2 und Psl2) einzeln und kombiniert auf das Wachstum und den Zierwert von ein- und mehrjährigen Zierpflanzen für den urbanen Bereich untersucht.

Auf urbanen streßbelasteten Standorten führten diese Rhizosphärenmikroorganismen ohne zusätzliche Mineraldüngung zur Förderung von Wachstum und Zierwert bei Zierpflanzen. Frühzeitige Inokulationen zur Aussaat bzw. Pflanzung verkürzten die Pflanzenanzucht und reduzierten Pflanzenausfälle.

Die drei Pflanzenarten reagierten unterschiedlich. Die deutlichsten Effekte wurden bei Tagetes durch Einzelinokulationen erzielt. Es zeichneten sich sortenspezifische Reaktionen ab. Bei Miscanthus waren Kombinationen von Mikroorganismen wirksam und förderten das Wachstum über drei Jahre. Nicht eindeutig reproduzierbar waren die Wirkungen bei Gladiolen, der Zierwert wurde positiv beeinflusst.

Alle Bakterienstämme produzierten in Reinkultur Auxine und z.T. Cytokinine. Zwischen Phytohormonbildung, Mykorrhizierung der Wurzeln, Wurzelbesiedlung durch die autochthone Mikroflora und Wurzelstimulierung zeichneten sich wiederholt positive Wechselwirkungen ab. Von Ackerstandorten isolierte Bakterien waren auch auf urbanen nährstoffarmen Standorten wirksam. Die Bakterien besiedelten die Rhizosphäre von Tagetes und Gladiolen während der Vegetationsperiode im Freiland. Nach einjähriger Trockenlagerung des Bodens besiedelten PslA12 und PslB2 erneut die Rhizosphäre der nichtinokulierten Tagetes.

Schlagwörter:

AMP, Rhizosphärenbakterien, Zierpflanzen, Wachstum

Abstract

Jahn, M.:

Untersuchungen zum Einfluß selektierter arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMP) und assoziativer Rhizosphärenbakterien einzeln und kombiniert auf das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen für den urbanen Bereich

(Investigations on the influence of selected arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and associative rhizosphere bacteria, single and combined, on growth and ornamental value of ornamental plants under urban conditions)

In long-term pot and field trials the influence of selected arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) and associative rhizosphere bacteria (*Pseudomonas fluorescens* PsIA12, *Agrobacterium rhizogenes* A1A4, *Rhizobium trifolii* R39, *Stenotrophomas maltophilia* PsIB2 and PsI2), single and in combination, on growth and ornamental value of annual and perennial ornamental plants under urban conditions was tested.

These rhizosphere microorganisms did stimulate growth and ornamental value of ornamental plants without the additon of mineral fertilizers on urban stressed sites. An early inoculation during seeding or planting did shorten plant cultivation and reduced plant losses.

The three plant species did respond differently. The most obvious effects were achieved by single inoculation on Tagetes. Variety specific reactions did occur. Combination of microorganisms was effective on Miscanthus and did stimulate growth over three years. The effects on Gladiolus were not repeatable but ornamental value was stimulated.

All bacteria strains did produce Auxin and partially Cytokinin in pure culture. Between phytohormone production, root mycorrhization and root colonization by the autochthonous microflora positive interactions did occur. Bacteria isolated from agricultural sites were also effective on oligotrophic urban sites. The bacteria did establish in the rhizosphere of Tagetes and Gladiolus over the vegetation period on the field. After one year dry storage of the soil PsIA12 and PsIB2 did re-establish in the non-inoculated Tagetes rhizosphere.

Keywords:

AMF, Rhizosphere bacteria, ornamental plants, growth

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung und Zielstellung	5
2 Material und Methoden	14
2.1 Versuchsorganismen	14
2.2 Versuchsstandorte und Versuchsböden	14
2.2.1 Charakterisierung der Versuchsstandorte	14
2.2.2 Bestimmung der Nährstoffgehalte der Böden	16
2.2.3 Bestimmung der Sorptionskapazität	17
2.2.4 Beeinflussung der Versuchsböden durch organische und mineralische Düngung	17
2.3 Erfassung von Klimadaten	19
2.4 Kultivierung und Anzucht der Wirtspflanzen	19
2.5 Anzucht von AMP und Bakterien	19
2.6 Bestimmung von Pflanzenwachstumsparametern	20
2.6.1 Trockenmassen	21
2.6.2 Boniturverläufe	21
2.6.3 Wurzellängen	22
2.7 Ermittlung der Wirkungen von inokulierten AMP und Bakterien auf die nicht inokulierte Tagetes-Folgekultur	22
2.8 Bestimmung von Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung des Pflanzenwachstums	23
2.8.1 Ermittlung von Stoffwechselleistungen der Bakterienstämme in Reinkultur	23
2.8.2 Bestimmung von Prolin in gestreßten Pflanzen	24
2.8.3 Ermittlung des Besiedlungsverhaltens	24
2.8.3.1 Ermittlung der Mykorrhizierung durch inokulierte und durch autochthone AMP	24
2.8.3.2 Ermittlung des Besiedlungsverhaltens inokulierter Bakterien in der Rhizosphäre	26
2.8.3.3 Bestimmung von Bakterien und Pilzen aus der autochthonen Wildpopulation der Rhizosphäre	27
2.9 Statistische Auswertung	27
3 Ergebnisse	28
3.1 Einfluß von AMP und Bakterien auf das Wachstum und den Zierwert	28
3.1.1 Tagetes	28
3.1.2 Gladiolen	38
3.1.3 Miscanthus	43
3.2 Einfluß von inokulierten AMP und Bakterien auf die nicht inokulierte Tagetes-Folgekultur	46

	Seite
3.3 Einfluß von Inokulumform und Inokulationstermin, Standort, Düngung, Sommer- trockenheit und Beregnung auf den Inokulationseffekt von AMP und Bakterien	47
3.3.1 Inokulumform und Inokulationstermin	47
3.3.2 Standort	48
3.3.3 Inokulationswirkungen von Mikroorganismen bei differenzierter organischer bzw. mineralischer Düngung	50
3.3.3.1 Einfluß der organischen Düngung	50
3.3.3.2 Einfluß der mineralischen Düngung	52
3.3.4 Sommertrockenheit	54
3.4 Mögliche Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert bei Zierpflanzen	56
3.4.1 Stoffwechselleistungen der Bakterien in Reinkultur	56
3.4.2 Einfluß von AMP auf den Prolingehalt gestreßter Pflanzen	57
3.4.3 Besiedlungsverhalten	58
3.4.3.1 Mykorrhizierung	58
3.4.3.2 Besiedlungsverhalten von inokulierten Bakterien in der Rhizosphäre	61
3.4.3.3 Sporenanzahl und Most Probable Number der autochthonen AMP	63
3.4.3.4 Bakterien und Pilze aus der Wildpopulation des Bodens und der Rhizosphäre	64
4 Diskussion und Schlußfolgerungen	66
4.1 Diskussion	66
4.1.1 Inokulumform und Inokulationstermin	66
4.1.2 Pflanzenartspezifik mikrobieller Inokulationseffekte	67
4.1.3 Standortspezifische Wirkungen	70
4.1.4 Einfluß von organischer und mineralischer Düngung auf die Inokulationswirkungen von Rhizosphärenmikroorganismen	71
4.1.5 Effektivität von Rhizosphärenmikroorganismen in Sommertrockenperioden	72
4.1.6 Nachhaltigkeit von Inokulationswirkungen	72
4.1.7 Mögliche Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert	73
4.1.7.1 Stoffwechselleistungen	73
4.1.7.2 Mykorrhizierung	74
4.1.7.3 Besiedlungsverhalten der inokulierten Bakterien	76
4.2. Schlußfolgerungen	77
4.2.1 Erste Schlußfolgerungen für eine mögliche Nutzung von Rhizosphären- mikroorganismen bei Zierpflanzen für den urbanen Bereich	77
4.2.2 Schlußfolgerungen für weiterführende Arbeiten	78
5 Zusammenfassung	79
6 Literaturverzeichnis	83

Anhang

Verzeichnis der Abkürzungen

α	Signifikanzniveau
A. dest.	<i>Aqua destillata</i>
AFE	Ethanol-Formaldehyd-Eisessig-Gemisch
A1A4	Bakterienstamm <i>Agrobacterium rhizogenes</i>
AMP	arbuskuläre Mykorrhizapilze
autochthone AMP	einheimische, im Boden natürlich vorkommende AMP
cfu	colony forming units (Anzahl koloniebildender Einheiten)
d	Korngröße
ELISA	enzyme-linked-immunosorbent-assay
FM	Frischmasse [g]
GD	Grenzdifferenz
GH	Gewächshaus
Isolat 49	AMP-Isolat, <i>Glomus intraradices</i>
MPN-Methode	Most-Probable-Number-Methode zur Bestimmung der Anzahl infektiöser AMP-Strukturen
n	Stichprobenumfang (Anzahl der Pflanzen pro Variante)
n.b.	nicht bestimmt
Nieders.	Niederschlag [mm]
PGPR	Plant Growth Promoting Rhizobacteria (pflanzenwachstumsfördernde Rhizosphärenbakterien)
Pflanzendmr.	Pflanzendurchmesser [cm]
PsIB2, Psl2	Bakterienstämme <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
PsIA12	Bakterienstamm <i>Pseudomonas fluorescens</i>
rel. LF	relative Luftfeuchtigkeit [%]
RNA	Ribonukleinsäure
R39	Bakterienstamm <i>Rhizobium trifolii</i>
ppm	parts per million (Teile pro 1 Million Teile)
T	Temperatur [°C]
TM	Trockenmasse [g]
TMTD	Tetramethylthiuramdisulfid
U/min	Umdrehungen pro Minute
VAM3	AMP-Stamm, <i>Glomus ssp.</i>
V	in Abbildungen Kurzbezeichnung für VAM3

1 Einleitung und Zielstellung

Einfluß von arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) und assoziativen Rhizosphärenbakterien auf das Pflanzenwachstum und die Nährstofferschließung

Ein Ziel des urbanen Gartenbaues ist es, das Pflanzenwachstum auf nährstoffarmen, oft kalkreichen und mikrobiell armen urbanen Böden (PIETSCH und KAMIETH, 1991) zu fördern und somit die Stadt- und Wohnqualität zu erhöhen. Die Beanspruchung der urbanen Naturräume durch intensive gärtnerische Produktion erfordert es, aus ökologischen und ökonomischen Gründen, den Einsatz von Agrochemikalien und Düngemitteln zu begrenzen. Natürliche Ressourcen wie AMP und assoziative Rhizosphärenbakterien bieten eine Möglichkeit, das Pflanzenwachstum zu stimulieren.

Arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMP)

Die endotrophe Mykorrhiza ist eine der ältesten Symbiosen der Wurzeln höherer Pflanzen mit Pilzhypphen. Im Verlaufe der Evolution konnten sich Pflanzen mit ihrer Hilfe neue Lebensräume erschließen. Die AMP kommen heute weltweit bei 80 - 90 % der 300 000 Pflanzenarten unter differenzierten Boden- und Klimaverhältnissen vor (WERNER, 1987; WILCOX, 1991). Die Wirkungen von AMP auf das Pflanzenwachstum und die Nährstofferschließung sind in zahlreichen Gefäß- und Feldversuchen unter verschiedenen Umweltbedingungen mit unterschiedlichen Ergebnissen untersucht worden (BAGYARAJ und MANJUNATH, 1988; BAGYARAJ, 1991; BAREA et al., 1993). Es wurde auch über antagonistische Wechselwirkungen berichtet, die zum Ausbleiben erwarteter Wirkungen durch AMP führten (GIANINAZZI et al., 1990a, b).

Die extraradikalen Hyphen der AMP können das Pflanzenwachstum durch Erschließung von Pflanzennährstoffen wie z.B. Phosphor, Kalium (SANYAL und De DATTA, 1991), Stickstoff, Schwefel (BACKHAUS und FELDMANN, 1996), Kupfer, Zink (MARSCHNER und DELL, 1994; MÄDER, 1996) und Ammonium (STRIBLEY, 1987; SCHENCK, 1991) aus dem Boden fördern. Das kann zur Beeinflussung des Nährstoffkreislaufes durch AMP und dadurch zu verbessertem Pflanzenwachstum führen (WEST, 1995). AMP bewirken auch phytohormonähnliche Effekte (AZCON et al., 1978; BAREA und AZCON-AGUILAR 1982; DRÜGE und SCHÖNBECK, 1992). Das Auftreten bodenbürtiger phytopathogener Schaderreger (Pilze, Bakterien, Nematoden) kann durch AMP nachhaltig reduziert werden (BETHLENFALVAY et al., 1983; BOCHOW und ABOU-SHAAR, 1990; BAVARESCO und FOGHER, 1996). DEHNE (1987) und SCHÖNBECK et al. (1994) sahen den verbesserten Gesundheitszustand der Pflanzen als mögliche Ursache für die Toleranz von Krankheitserregern. Im Mittelpunkt von Untersuchungen standen oftmals Einzelwirkungen der AMP auf das Pflanzenwachstum (BALTRUSCHAT, 1987; LAND, 1990; DRÜGE, 1992; DUGASSA et al., 1995).

Wechselwirkungen zu anderen Rhizosphärenmikroorganismen im Boden blieben jedoch oft ohne Berücksichtigung. Wichtig für eine schnelle Mykorrhizierung der Wirtspflanzen sind optimale Wachstumsfaktoren wie

- Temperatur (SIEVERDING, 1988)
- Lichtintensität (DIEDERICHS, 1981)
- Tageslänge (DIEDERICHS, 1981)
- Bodenbedingungen (SMITH und BOWEN, 1979; TISDALL und OADES 1979, 1982)
- Dormanz (TOMMERUP, 1983)
- Überlebensfähigkeit (HAYMAN, 1982; HARLEY und SMITH, 1983).

Assoziative Rhizosphärenbakterien

KLOEPPER et al. (1980) faßten die pflanzenwachstumsfördernden Rhizosphärenbakterien in der Gruppe der „Plant Growth Promoting Rhizobacteria“ (PGPR), die sowohl symbiontische als auch assoziative Bakterien umfaßt, zusammen. Als Pionierkolonisten besiedeln sie schnell und effektiv kritische Stellen der Rhizoplane (HAIDER, 1996). Viele assoziative Rhizosphärenbakterien (*Pseudomonas* ssp., *Agrobacterium* ssp., *Rhizobium* ssp.) können direkt durch die Produktion von Phytohormonen (Auxine, Cytokinine, Gibberelline), erhöhte Nitrogenaseaktivität oder Phosphatmobilisierung wachstumsfördernd wirken (LINDERMAN, 1988; MARTIN et al., 1989; BOTHE et al., 1992; HÖFLICH et al., 1996, 1997). Infolgedessen ist ein stimuliertes Wurzelwachstum möglich. Diese Effekte werden auch von den Assimilatlieferungen der Wirtspflanzen beeinflusst. Assoziative Rhizosphärenbakterien besitzen einen weitreichenderen Wirtspflanzenkreis als beispielsweise symbiontische *Rhizobium* ssp. und eine starke Bindung an die Pflanzenwurzeln.

Weiterhin ist ihre Lebensweise in der Rhizosphäre weniger spezifisch als bei symbiontischen Bakterien (WIEHE und HÖFLICH, 1995b). PGPR können Makro- und Mikronährstoffe in pflanzenverfügbarer Form aus dem Boden erschließen (SARIC et al., 1984; WACHE, 1991; PUPPI et al., 1994; SCHÜEPP, 1994). Dadurch können sie das Pflanzenwachstum fördern. Die Aktivität der PGPR in der Rhizosphäre kann indirekte pH-Wert-Änderungen im Wurzelbereich durch Protonenabgabe (RÖMHELD und MARSCHNER, 1986; MARSCHNER et al., 1987; MARSCHNER, 1995) oder direkte Änderungen durch Abgabe von organischen Zellsubstanzen (Wurzelexsudate, Sekretionen, Mucigele, Lysate) bewirken. Diese organischen Stoffe bilden eine Ernährungsgrundlage für die Bakterien (NEWMAN, 1985) und eine Voraussetzung für den Aufbau einer engen Bakterien-Pflanzen-Assoziation. Der Schutz der Pflanzen vor bodenbürtigen Schaderregern durch inokulierte Rhizosphärenbakterien wurde oft nachgewiesen. So können *Pseudomonas spec.* beispielsweise gegenüber phytopathogenen Rhizosphärenmikroorganismen antagonistisch wirkende Stoffe, z.B. Antibiotika (HAAS et al., 1992) und Siderophoren (RÖMHELD und MARSCHNER, 1986; BOCHOW, 1989; BEAUCHAMP et al., 1991) produzieren. Dadurch können sie konkurrenzfähig gegenüber phytopathogenen Bakterien sein. Infolgedessen sind indirekte Wachstumsstimulierungen (KLOEPPER et al., 1980; NEILANDS und LEONG, 1986) möglich. Das Pflanzenwachstum kann andererseits aber auch infolge von Parasitierung oder Freisetzung von Phytotoxinen gehemmt wer-

den (HÖFLICH et al., 1997). Weiterhin sind PGPR in der Lage, biologisch aktive Substanzen wie Hormone, Enzyme und Vitamine zu produzieren (PUPPI et al., 1994). Dadurch leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Nährstoffschließung. Die Interaktionen zwischen Wirtspflanzen und Rhizosphärenmikroorganismen sind sehr vielschichtig und komplex.

Die Bedeutung einzelner Stoffwechselleistungen für das Pflanzenwachstum lässt sich deshalb nicht immer exakt zuordnen (RUPPEL, 1987; JAGNOW et al., 1991).

Kombinationen mehrerer Rhizosphärenmikroorganismen

Die AMP sind ein wichtiger Bestandteil der Bodenmikroflora. Das Vorkommen der AMP kann durch andere Bodenmikroorganismen beeinflusst werden (BAREA et al., 1980, 1983) und zu mikrobiellen Wechselwirkungen an der Wurzel-Boden-Oberfläche führen (HALL, 1988). Da die Vorteile der AMP auch durch Stoffwechselleistungen bestimmter PGPR begünstigt werden können (AZCON-AGUILAR und BAREA, 1992; VOSATKA et al., 1992), stehen mögliche synergistische oder antagonistische Wechselwirkungen oft im Mittelpunkt von Untersuchungen (AMES und BETHLENFALVAY, 1987; BAVARESCO und FOGHER, 1991; PUPPI et al., 1995).

In der Literatur werden neben den überwiegend positiven Effekten kombinierter Inokulationen von AMP mit Rhizosphärenbakterien (AMES et al., 1984; PAULITZ und LINDERMAN, 1989; KRIEG und FRANZ, 1989; LEOPOLD, 1990; DEFREITAS und GERMIDA, 1992; HÖFLICH et al., 1995, 1996) auch Ergebnisse über ausbleibende (BAREA et al., 1980; PEÑA et al., 1988; SIEVERDING, 1991) oder antagonistische Effekte (KANG et al., 1980; HOWELER et al., 1987; BETHLENFALVAY et al., 1995) dargestellt.

Durch Kombination von *Rhizobium trifolii* (R39) oder *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) mit *Glomus* ssp. (VAM 3-5) konnten die Nitrogenaseaktivität und das Pflanzenwachstum von Luzerne, Erbse und Lupinen im Vergleich zur Einzelbeimpfung auf anlehmigem Sand und sandigem Lehm zusätzlich erhöht werden (HÖFLICH et al., 1992, 1996). Dagegen bewirkte die Kombination von symbiontischen *Rhizobium* ssp. (E163, E164) mit *Glomus* ssp. (VAM 3-5) bei Erbsen keine synergistischen Wachstumsstimulierungen (HÖFLICH et al., 1993). In Vorversuchen wurden das Wachstum und der Zierwert von *Tagetes-Erecta-Hybriden* der Sorte 'Hawaii' auf urbanem anlehmigem Sand durch Inokulation von *Glomus* ssp. (VAM3) mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) gefördert (JAHN, 1994).

Inokulierte AMP beeinflussen auch die Besiedlung der natürlich im Boden vorkommenden Rhizosphärenbakterien. Diese Wechselwirkungen schließen den Nährstoffkreislauf mit ein und können dadurch die Pflanzenernährung fördern. Auch GIANINAZZI et al. (1995) stellten eine Förderung von Rhizosphärenmikroorganismen durch inokulierte AMP fest, die synergistisch zu verbessertem Pflanzenwachstum führten. BAGYARAJ (1984), LINDERMAN (1988), GLANTE (1988, 1990a, b), ALTEN et al. (1991, 1993) und PUPPI et al. (1994) stellten eine Beeinflussung der Mykorrhizosphäre

durch verschiedene Rhizosphärenbakterien (*Pseudomonas* spp., *Agrobacterium* spp., *Azotobacter* spp., *Bacillus subtilis*) fest. Nach MEYER und LINDERMAN (1986a,b) erhöhten *Glomus* spp. und *Pseudomonas* spp. mutualistisch die Besiedlung des anderen Partners. Dies führte zur zusätzlichen Verbesserung des Pflanzenwachstums bei Klee.

Die Phosphor-Aufnahme bei Mais und Lavendel konnte durch synergistische Wechselwirkungen von AMP mit *Pseudomonas* spp. erhöht werden (BAREA et al., 1975). GRYNGLER et al. (1989) führten spezifische Wechselwirkungen zwischen PGPR (*Pseudomonas putida*, *Agrobacterium radiobacter*) und *Glomus fasciculatum* bzw. *Glomus etunicatum* an *Fragaria x ananassa* im Gewächshaus auf die Leistungsfähigkeit von AMP zurück. AZCON (1989) dagegen fand selektive Wechselwirkungen zwischen PGPR und AMP, wobei die Effekte von den Bakterienisolaten abhängig waren. Auch biochemische Interaktionen kommen als Ursache positiver Kombinationseffekte in Betracht, da elektronenmikroskopische Untersuchungen von VANCURA et al. (1988) Anhaftungen von *Pseudomonas fluorescens* und *Rhizobium leguminosarum* an die AMP-Strukturen über einen physikalischen Kontakt und eine Besiedlung der AMP-Oberfläche feststellten. Diese Koexistenz schließt Wechselwirkungen entweder auf der Besiedlungsebene und/oder auf funktionaler sowie auf der Nährstoffebene ein (MEYER und LINDERMAN, 1986a,b; AZCON, 1989; AZCON-AGUILAR und BAREA, 1992). Es sind ebenso Wechselwirkungen zwischen AMP und PGPR bekannt, die bodenbürtige Schaderreger im Boden hemmen können (KLOEPPER et al., 1988; AZCON-AGUILAR und BAREA, 1992; SCHÖNBECK et al., 1994).

Direkte und indirekte Nährstofferschließung über den Boden

In der Literatur ist oftmals die Abhängigkeit höherer Pflanzen von der Ausbildung einer funktionsfähigen Wurzelsymbiose auf Böden mit geringer Nährstoffverfügbarkeit durch Vergrößerung der nährstofferschließenden Wurzeloberfläche beschrieben worden, ebenfalls deren spezifisch verbessertes Nährstoff-Aneignungsvermögen (COOPER, 1984). Die von AMP bewirkte zusätzliche direkte Phosphor-Versorgung der Pflanzen (FÖRSTER, 1984; MOSSE, 1957; KOIDE, 1991) tritt vor allem auf Phosphat-Mangel-Böden (ABBOTT et al., 1994) auf. Nach SMITH und GIANINAZZI-PEARSON (1988), GIANINAZZI et al. (1995) sowie MARSCHNER (1995) können die Hyphen der AMP z.B. Phosphat aus der Bodenlösung aufnehmen, es zu Polyphosphaten synthetisieren und vorübergehend Phosphor speichern. GIANINAZZI-PEARSON und GIANINAZZI (1986) wiesen eine erhöhte Polyphosphataseaktivität in mykorrhizierten Pflanzenwurzeln nach und beschrieben den Stoffaustausch beider Symbiosepartner als aktiven Transportprozeß in wechselseitiger Richtung. Durch den verstärkten Entzug von Nährstoffen aus dem Boden und einer verbesserten Ausnutzung von Düngergaben leisten AMP einen Beitrag zur Verminderung der Nährstoffauswaschung (GIANINAZZI-PEARSON und GIANINAZZI, 1986; BALTRUSCHAT, 1987; DOMEY, 1987; HÖFLICH und GLANTE, 1991). 70 % der Phosphor-Dünger und 30 - 40 % der Mikronährstoffe können durch inokulierte AMP beim Anbau von Gemüse unter Glas eingespart werden (JOHNSON und MENGE, 1981). BAREA et al. (1980) stellten bei mykorrhizierten Pflanzen eine bessere Erschließung von verfügbaren und schwer verfügbaren Stickstoff-Quellen oder von Kohlenstoffgaben (MARSCHNER et al., 1987) für die Pflanzen fest. Die Vorteilseffekte, z.B. verstärkte Aufnahme von Nährstoffen durch AMP und/oder

Rhizosphärenbakterien, sind in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen worden. Unzureichend untersucht ist bisher der Einfluß dieser Mikroorganismen unter erhöhten abiotischen und biotischen Streßbedingungen auf nährstoffarmen Freilandböden. Dies stellt besonders unter den zunehmenden Umweltbelastungen einen wichtigen Untersuchungsschwerpunkt dar.

Verbesserte Bodenbedingungen

Das Pflanzenwachstum kann indirekt durch verbesserte Bodenbedingungen infolge einer Inokulation von wachstumsstimulierenden Rhizosphärenmikroorganismen (SCHENCK, 1991) und somit durch verbesserte Nährstofferschließung gefördert werden. Nach FRIETZ (1989) und GIANINAZZI et al. (1995) sind inokulierte AMP Bindeglieder zwischen Wurzeln und anderen Bodenbestandteilen.

Rhizosphärenmikroorganismen sind an der Bildung und Stabilisierung von Bodenstrukturen, z.B. der Krümelstruktur beteiligt (KRUCKELMANN, 1975; LYNCH und BRAGG, 1985; FRIED, 1988; BETHLENFALVAY und NEWTON, 1990; TISDALL, 1991). Mit ihren extraradikalen Hyphen formen AMP Mikroaggregate des Bodens in stabile Makroaggregate um (TISDALL und OADES, 1979, 1982; DAVIES et al., 1992). Als kritische Bestandteile der Wurzel-Boden-Oberfläche fördern sie auch das Porenvolumen, die Durchlüftung und die Durchwurzelung der Pflanzen im Boden. Dies sind wichtige Voraussetzungen für ein optimales Pflanzenwachstum.

Das externe Mycel kann nicht nur die mikrobielle Aktivität im Boden beeinflussen (McGONIGLE und FITTER, 1988), sondern auch Substrat für die Bodenfauna liefern. Hyphen können aufgrund ihres geringen Durchmessers von 2 - 8 µm kleinere Bodenporen als die Wurzelhaare erschließen (HARLEY, 1989). Dadurch vergrößern sie auch die Absorptionsfläche der Wurzeln (GIANINAZZI et al., 1995).

Bodenverbesserung durch organische Düngung

Die Versorgung der Böden mit organischer Substanz ist eine wichtige bodenverbessernde Maßnahme und fördert gleichzeitig die Bodenmikroflora (BECK, 1984). Unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse können organische Düngemittel wie Niedermoortorf, Feldkompost und Rindenabfall indirekt das Pflanzenwachstum und die mikrobielle Aktivität des Bodens über verbesserte Bodenbedingungen beeinflussen. Diese organischen Materialien können zusätzlich sowohl für die Pflanzen als auch für die Rhizosphärenmikroorganismen Nährstoffe liefern.

Auf urbanen Standorten kann eine organische Multschicht zur besseren Feuchtigkeitsspeicherung führen (KAUFMANN, 1989).

Dabei beeinflussen die Aufwandmengen organischer Substanz weniger die AMP (RUISSSEN, 1982). Vorteilswirkungen der organischen Düngung sind neben schneller Bodenerwärmung, erhöhter Wasserhaltekapazität und Wärmespeicherung auch eine gleichmäßige Bodenfeuchte (KAUFMANN, 1989). Um bei Freilandzierpflanzen über lange Zeit eine lange Blühphase zu erreichen, werden erfolgreich organische Düngemittel eingesetzt (BLUME, 1990). NIELSEN und JENSEN (1983) stellten eine Förderung der AMP durch Zugabe von Mulchmaterial fest.

Einfluß von Rhizosphärenmikroorganismen auf Ackerstandorten

AMP kommen in Böden ubiquitär vor. Sie sind auch in intensiv genutzten, fruchtbaren Ackerböden in großer Vielfalt zu finden (WINTER, 1951; KRUCKELMANN, 1975; BALTRUSCHAT und DEHNE, 1986; LAND, 1990; FRIED, 1991). Entgegen Ergebnissen von MOSSE (1973, 1981) können sich inokulierte AMP auch in ausreichend nährstoffversorgten Böden durchsetzen und die Pflanzenentwicklung fördern (DEHNE, 1987). Die Möglichkeiten, durch Rhizosphärenmikroorganismen auch die Leistungsfähigkeit von Nutzpflanzen unter Freilandbedingungen zu erhöhen, sind bisher unzureichend beachtet worden. Im Gegensatz dazu wurden wiederholt Wachstum und Erträge von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen z.B. Getreide, Erbsen, Mais, Gräser, Raps, Senf und Luzerne durch Inokulation von *Glomus* ssp. (VAM3), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39), *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2, Psl2), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) in Gefäß- und Feldversuchen auf Ackerstandorten (lehmiger Sand, sandiger Lehm) unter gemäßigttem Klima stimuliert (HÖFLICH und KÜHN, 1996; HÖFLICH et al., 1994, 1996, 1997). Durch gezielte Kombinationen von *Rhizobium* spp. mit *Pseudomonas* spp. wurden z.T. die Einzelwirkungen bei Leguminosen verbessert (LISTE, 1992). Die im Boden vorkommende autochthone Bodenmikroflora wirkt oft unkontrolliert auf die Pflanzen (RUISSEN, 1982; GIANINAZZI-PEARSON et al., 1985; PUPPI et al., 1994; FELDMANN et al., 1996). Hinzu kommt, daß die Bedingungen für ein optimales Pflanzenwachstum häufig nicht gegeben sind. Hier bietet sich ein Untersuchungsansatz, die auf Ackerstandorten wachstumsfördernd wirkenden Mikroorganismen auch auf urbanen nährstoffarmen Böden auf ihre Wirksamkeit zu prüfen.

Rekultivierungsflächen

Brachliegende Böden, z.B. Kippenböden der Bergbaufolgelandschaften, können arm an natürlichen AMP sein (POWELL, 1982b; THOMPSON, 1987; HARINIKUMAR und BAGYARAJ, 1988). Bei der Wiederaufforstung und Rekultivierung von Rohböden kann deshalb eine Startinokulation mit leistungsfähigen Endo- und Ektomykorrhizapilzen zur schnelleren Erstbesiedlung von Pflanzen und späteren Förderung der natürlich vorkommenden Vegetation beitragen (MARX, 1975; JASPER et al., 1989; WEBER et al., 1995; MARX und CORDELL, 1995). *Pseudomonas stutzeri*, *P. putida* und *P. alcaligenes* werden als Starterkulturen zur Beschleunigung der biologischen Bodensanierung eingesetzt (DOTT, 1995). Die Inokulation mit effektiven AMP kann zunehmend bei der Flächenbegrünung von Autobahnböschungen und Industriekomplexen Bedeutung gewinnen (ABBOTT und ROBSON, 1985; BALTRUSCHAT, 1987).

Gärtnerische Anzuchtsubstrate und -erden

Im Gartenbau werden durch Nutzung inerter Kultursubstrate (Torf, Vermikulit, Perlit) und Gewebekulturtechniken häufig gärtnerische Erden, die arm an autochthoner Mikroflora sind, verwendet. Dort fehlen dann natürliche Rhizosphärenmikroorganismen als Puffer und zum Ausgleich negativer Umwelteinflüsse. Aus diesem Grunde bietet dieser Produktionszweig besonders günstige Voraussetzungen zur Prüfung wachstumsstimulierender Effekte durch inokulierte AMP und/oder assoziative Bakterien. Struktur und Zusammensetzung gärtnerischer Erden können nicht nur die Lebensbedingungen der Kulturpflanzen, sondern auch die der Rhizosphärenmikroorganismen beeinflussen

(BRANZANTI et al., 1990). Sand förderte im Vergleich zu Rindensubstraten die AMP (FRIETZ, 1989). Nach HAAS et al. (1987) ist erst durch Inokulation mit AMP ein gesundes Pflanzenwachstum in gärtnerischen Erden möglich.

AMP sind bereits erfolgreich bei der Anzucht von Zierpflanzen (GIANINAZZI et al., 1990a,b, 1995; BACKHAUS und FELDMANN, 1996), im Citrusanbau (MENGE et al., 1978; McGRAW und SCHENCK, 1980), in der Blaubeerproduktion, bei Tafeltrauben (KARAGIANNIDIS et al., 1995) sowie bei der Stecklingsvermehrung von Obstgehölzen (LOVATO et al., 1994) geprüft worden. Bei in-vitro-vermehrten Pflanzen konnten die Ausfälle während der Abhärtungsphase im Gewächshaus durch AMP vermindert werden (BACKHAUS und FELDMANN, 1996, 1997). Stecklingsbewurzelung AMP-inokulierter gärtnerischer Kulturen (*Chrysanthemum frutescens*, *Pelargonium zonale*, *Heliotropium arborescens*) wurden unter ungünstigen Gewächshausbedingungen unabhängig vom Substrat gesteigert (BACKHAUS, 1984; POWELL et al., 1985; DEHNE, 1987; WOOD, 1992). Bei Wurzelstöcken von Zitronenbäumen führte die Inokulation mit effizienten AMP zur Verfrühung der Knospenbildung um 4 - 6 Monate. Die Kulturdauer konnte durch Inokulation mit *Glomus mosseae* bei *Taxus baccata*, *Ampelopsis quinquefolia* und *Liquidambar styraciflua* in Freilandversuchen um ein Jahr verkürzt werden (GIANINAZZI et al. 1990a,b, 1995).

Urbane Standorte

Wachstum und Überlebensrate in gärtnerischer Erde vorkultivierter Pflanzen können auf den späteren oft nährstoffarmen urbanen Standorten begrenzt sein. Ein optimales Pflanzenwachstum ist auf diesen Böden ohne zusätzliche Dünger- und Wassergaben oft nicht zu erzielen. Streßfaktoren wie Trockenheit, hohe Salzgehalte, Abgase, ungünstige pH-Werte und Bodenverdichtungen kennzeichnen urbane Standorte (BRUNDRETT und ABBOTT, 1991; PIETSCH und KAMIETH, 1991). Auf pflanzenbaulichen Grenzstandorten wie urbanen Böden können AMP das Pflanzenwachstum durch verbesserte Nährstofferschließung (PEUSS, 1957; COOPER, 1984; MOSSE, 1981) und Veränderungen des Hormonhaushaltes in Pflanzen sowie des Resistenzverhaltens gegenüber Wurzelpathogenen fördern. Es liegen auch widersprüchliche Ergebnisse dazu vor (HETRICK et. al., 1984).

Die Bildung und Entwicklung der AMP kann nicht nur die Pflanze selbst verändern, sondern vor allem ihre Reaktionslage gegenüber biotischen und abiotischen Streßeinwirkungen beeinflussen (PEUSS, 1958; GIANINAZZI et al., 1995). Dadurch können die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen und das Pflanzenwachstum verbessert werden (HAYMAN, 1983). Insbesondere Pflanzen mit einem gering leistungsfähigen Wurzelsystem auf phosphatarmen austrocknungsgefährdeten Grenzstandorten können durch eine Mykorrhizabesiedlung besser wachsen (POWELL und BAGYARAJ, 1984). Das zeigt ihre besondere Bedeutung für das Wachstum und die Entwicklung, an Extremstandorten auch für das Überleben von Pflanzen. Diese Wirkungen wurden bisher nicht gezielt genutzt. Deshalb sind Untersuchungen besonders auf urbanen streßbelasteten Standorten wichtig.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Nutzung von inokulierten Rhizosphärenmikroorganismen ist die sorgfältige Auswahl verträglicher Wirtspflanzen (Arten, Sorten), Gattungen von AMP und Bakterien sowie deren Wechselwirkungen unter bestimmten Standort- und Umweltfaktoren.

Erst in letzter Zeit haben die Möglichkeiten, mit Hilfe wachstumsfördernder Rhizosphärenmikroorganismen die Auswirkungen von Streßbelastungen beeinflussen zu können, wieder wissenschaftliche Beachtung gewonnen.

Untersuchungen zur Wirkung inokulierter Rhizosphärenmikroorganismen auf Zierpflanzen wurden bisher größtenteils unter kontrollierten Gewächshausbedingungen (BACKHAUS, 1984; SCHÖNBECK et al., 1994; DUGASSA et al., 1995; ABOUL-NASR, 1996) durchgeführt. Bisher liegen keine Ergebnisse über Einflüsse leistungsfähiger Rhizosphärenmikroorganismen auf das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen unter praxisrelevanten urbanen Freilandbedingungen vor. Zum großen Teil noch unerforscht sind die Interaktionen zwischen Zierpflanzen und deren pilzlichen Wurzelsymbionten einerseits sowie zwischen diesen AMP, assoziativen Rhizosphärenbakterien und der Vielzahl der in der Mykorrhizosphäre vorkommenden autochthonen Bodenmikroflora andererseits. Die Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert bei Zierpflanzen sind noch ungenügend geklärt. Es fehlen Untersuchungen zur möglichen langanhaltenden Sicherung, Stabilisierung und Erhöhung des Pflanzenwachstums von Zierpflanzen durch Rhizosphärenmikroorganismen bei gleichzeitiger Verringerung des Einsatzes von Agrochemikalien auf urbanen Standorten.

Zielstellung

Ziel der Untersuchungen war es, das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen auf urbanen Standorten, bei geringer Umweltbelastung mit Düngemitteln, durch Nutzung natürlicher Ressourcen zu verbessern. Inokulierte Rhizosphärenmikroorganismen stimulierten wiederholt auf Ackerstandorten die Nährstofferschließung aus dem Boden und das Pflanzenwachstum ohne zusätzliche Düngung. Aus diesem Grund sollten auch auf urbanen Standorten Möglichkeiten zur Verbesserung des Wachstums und des Zierwertes von Zierpflanzen mit Hilfe inokulierter Rhizosphärenmikroorganismen geprüft werden. In Gefäß- und Freilandversuchen wurden vorrangig folgende Fragestellungen untersucht:

- Können Rhizosphärenmikroorganismen wie AMP (*Glomus ssp.* VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) und assoziative Rhizosphärenbakterien (*Pseudomonas fluorescens* PsIA12, *Agrobacterium rhizogenes* A1A4, *Rhizobium trifolii* R39, *Stenotrophomas maltophilia* PsIB2 bzw. PsI2), die bereits das Wachstum landwirtschaftlicher Kulturpflanzen auf Ackerstandorten förderten, auch das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen auf urbanen Standorten unter Freilandbedingungen verbessern?
- Zeichnen sich pflanzenart- und sortenspezifische Unterschiede bei ein- bzw. mehrjährigen Zierpflanzen (Tagetes, Gladiolen, Miscanthus) ab?
- Können zusätzliche positive Effekte durch Kombination von Mikroorganismen erzielt werden?
- Sind Rhizosphärenmikroorganismen auch auf einer extremen urbanen Verkehrsinsel wirksam?
- Werden die Wirkungen der Mikroorganismen durch Inokulumform und Inokulationstermin, organische bzw. mineralische Düngung, Sommertrockenheit und Beregnung beeinflusst?
- Auf welche Wirkungsursachen ist die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert der Pflanzen zurückzuführen?

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsorganismen

Wirtspflanzen

- *Tagetes-Erecta-Hybriden*, Sorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme', Fa. Treppens & Co, Berlin sowie Fa. Sperling & Co, Lüneburg
- *Gladiolus-Hybriden*, Sorte 'Frührot', Fa. Winkler, Gröningen
- *Miscanthus sinensis* 'Gracillimus', Fa. Foerster-Stauden, Potsdam-Bornim

Arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMP)

- *Glomus* ssp., Stamm VAM3 (GLANTE, 1988)
- *Glomus intraradices* SCHENCK & SMITH, Stamm Isolat 49 (LAND, 1990)

Bakterien

- *Pseudomonas fluorescens*, Stamm PslA12 (HÖFLICH, 1992)
- *Agrobacterium rhizogenes*, Stamm A1A4 (HÖFLICH et al., 1996)
- *Rhizobium trifolii*, Stamm R39 (HÖFLICH, 1989)
- *Stenotrophomas maltophilia*, Stämme Psl2, PsIB2 (HÖFLICH et al., 1996)

2.2 Versuchsstandorte und Versuchsböden

2.2.1 Charakterisierung der Versuchsstandorte

Es wurden urbane Standorte in Berlin-Köpenick, sowohl anlehmige Sandböden des Versuchsgeländes des Institutes für Gartenbauwissenschaften als auch eine extrem nährstoffarme Verkehrsinsel in der Stadtmitte von Berlin-Köpenick, für die zweijährigen Versuche ausgewählt. Kennzeichnend für beide Standorte waren geringe Nährstoffsorptionsgehalte (Tab. 4) und abiotische (Trockenheit, Abgase) sowie biotische (Krankheitsbefall) Streßbelastungen. Die natürlichen Bedingungen für ein optimales Pflanzenwachstum waren auf beiden Standorten nicht gegeben. Deshalb wurden auf diesen anlehmigen Sandböden Untersuchungen zum Einfluß von AMP und Bakterien auf das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen durchgeführt.

Extremer urbaner Standort (Verkehrsinsel)

Die Wirkungen von AMP (VAM3, Isolat 49) an *Tagetes* wurden unter Trockenstreß auf der Verkehrsinsel geprüft. Wirkungen assoziativer Rhizosphärenbakterien auf diesem extremen Standort wurden aus Zeitgründen im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht. Der anlehmige Sand (Bodentyp Pararendzina) war durch starke Bodenverdichtungen und einen dichten Grasbewuchs gekennzeichnet. Der C_t-Gehalt betrug 2000 mg/100 g Boden.

Urbaner Standort (Versuchsfeld)

Die Vorkulturen des Standortes waren von 1984 bis 1993 *Rosa-Hybriden* und 1993/94 *Phacelia tanacetifolia* BENTH.. Weitere Zusatzuntersuchen sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Übersicht über Freilandversuche von 1991 bis 1997 auf urbanen anlehmigen Sandböden des Institutsgeländes in Berlin-Köpenick (Versuchsfeld)

Jahr	Versuchsfrage
1991/92	Einfluß einer Kombinationsimpfung von VAM3 mit PslA12 ohne bzw. mit organischer Düngung (Tonmudde/Torf (6 kg/m ²) an Tagetes
1991/92	Einfluß einer Kombinationsimpfung von VAM3 mit PslA12 ohne bzw. mit mineralischer Grunddüngung an Tagetes
1992	Einfluß einer Kombinationsimpfung von VAM3 mit PslA12 ohne bzw. mit mineralischer Langzeitdüngung an Tagetes
1995	Wirkung von AMP und Bakterien auf die nicht inokulierte Folgekultur Tagetes
1995/97	Einfluß einer Kombinationsimpfung von VAM3 mit PslA12 ohne bzw. mit organischer Düngung (Humussubstrat-Lehm (0,7 l/Gefäß) an Miscanthus

Folgende Eigenschaften kennzeichneten den Standort:

Bodenart: anlehmiger Sand
Bodentyp: Rostbraunerde
Luftkapazität [Vol.-%]: 11,4
Wasserkapazität [Vol.-%]: 36,0
Porenvolumen [Vol.-%]: 48,0

Zusätzlich wurden folgende Nährstoffgehalte [mg/100 g Boden] ermittelt:

MgO: 27,0
Mn: 3,6
Cu: 0,4
C_t-Gehalt: 2440,0

Tab. 2: Anteile der Bodenstruktur nach dem Teilchendurchmesser (Versuchsfeld), Angaben in [%]

Bodenschicht [cm]	Ton	Schluff			Sand	
		Fein	Mittel	Grob	Fein	Mittel/Grob
0 - 10	1,7	<1	1,4	3,0	33,3	60,2
10 - 20	1,5	<1	1,7	3,7	26,0	66,4
20 - 30	1,6	<1	1,0	3,2	30,8	63,1
30 - 60	1,5	<1	1,0	3,0	26,5	67,5

Die weitere Bestimmung der Korngrößen erfolgte nach der Köhn'schen Pipettanalyse. Der Karbonat- (3,0 % CaCO_3) und Humusgehalt (5,7 %) des Bodens wurde vorher zerstört. Danach wurde der Feinboden ($d < 2 \text{ mm}$) dispergiert. Die Unterteilung in unterschiedliche Korngrößenklassen erfolgte nach unterschiedlichen Sedimentationsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Korngröße und der Dichte der Bodenmasse.

Korngrößen des anlehmigen Sandbodens (Versuchsfeld, Angaben in %):

Sand:	92,0
Schluff:	5,2
Lehm:	2,6

2.2.2 Bestimmung der Nährstoffgehalte der Böden

Monatliche Bodenanalysen erfolgten zur Bestimmung der Nährstoffgehalte der verschiedenen Böden beider Standorte und zur Beurteilung der nährstoffschließenden Wirkung inokulierter Mikroorganismen. Jeweils zehn Bodenproben wurden mit dem Bodenentnahmegerät aus der obersten Bodenschicht (0 - 30 cm) entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die edaphischen Eigenschaften der Anzuchtböden (1991 - 1996) sind im Anhang IV Tab. A3 und die der Freilandböden in Tab. 3 dargestellt. Die Nährstoffgehalte der Böden wurden wie folgt analysiert:

- Gesamtkohlenstoff (C_t , elementaranalytisch) nach trockener Veraschung
- Gesamtstickstoff (N_t , Kjeldahl)
- pH-Wert (elektrometrisch, CaCl_2 -Extrakt)
- doppelaktatlöslicher Phosphor (Molybdänblau-Methode)
- doppelaktatlösliches Kalium (flammenphotometrisch) (EGNER, 1932; RIEHM, 1985)
- CaCl_2 -extrahierbares Magnesium (SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN, 1974)

Tab. 3: Angaben zu den edaphischen Eigenschaften der Freilandböden (1991 - 1997), Bodenanalyse¹ (mg/100 g Boden; Bodentiefe 0 - 30 cm)

Standort	Kultur	N_t	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	P_2O_5	K_2O	pH-Wert	Salz [g/l]
Versuchsfeld	Tagetes	18,0	5,0	6,0	4,3	20,7	5,7	0,1
	Gladiolen	20,0	10,0	6,0	28,3	46,0	5,7	0,1
	Miscanthus	27,0	10,0	18,0	4,8	25,7	6,8	0,6
Verkehrsinsel	Tagetes	4,4	3,8	1,5	8,5	2,9	6,9	0,2

¹ Es wurden Mittelwerte der monatlichen Bodenanalysen von den verschiedenen Versuchen je Standort angegeben.

2.2.3 Bestimmung der Sorptionskapazität

Die Sorptionskapazität wurde zur Einschätzung des Nährstoffsorptionsvermögens der anlehmigen Sandböden beider Standorte ermittelt (Tab. 4). Die Bestimmung des Sorptionsvermögens der Böden erfolgte nach der Methylenblau-Methode (PETER et al., 1959; RIEHM, 1982) durch die Fa. INU Umweltberatung & Analytik GmbH, Berlin. Die Versuchsböden wurden dazu mit 0,5 % Methylenblau-Lösung geschüttelt. Dabei sorbierte der Boden Farbstoff. Die volumetrische Messung der Methylenblau-Restkonzentration erfolgte bei 570 nm. Das Nährstoffsorptionsvermögen beider Standorte war gering (Tab. 4). Im Vergleich dazu gelten bei einer Sorptionskapazität von 11 mval/100 g Boden intensiv genutzte Freilandböden als gut nährstoffversorgt (DREWS, 1968; GÖHLER und DREWS, 1978).

Tab. 4: Sorptionskapazität [mval/100 g Boden] der anlehmigen Sandböden des Versuchsfeldes und der Verkehrsinsel (Bodentiefe 0 - 30 cm)

Standort	Sorptionskapazität [mval/100 g Boden]
Versuchsfeld	6,1
Verkehrsinsel	2,1

2.2.4 Beeinflussung der Versuchsböden durch organische und mineralische Düngung

Die Versuchsböden können durch organische und mineralische Düngung beeinflusst werden. Aus diesem Grund wurden Wirkungen inokulierter Rhizosphärenmikroorganismen in Kombination mit und ohne Düngungsgaben untersucht. Praxisrelevante Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen im Zeitraum von 1991 - 1996 sind im Anhang IV Tab. A4 bzw. A5 dargestellt.

Organische Düngung

1991/92 wurde der Einfluß von organischer Düngung in Höhe von 6 kg/m² bzw. 0,23 kg/Gefäß in Kombination mit VAM3 und PslA12 bei der Tagetessorte 'Hawaii' geprüft. Die Düngungsgabe bestand aus 50 % Tonmudde und 50 % Niedermoortorf.

1995 bis 1997 wurde bei Miscanthus der Einfluß von VAM3 mit PslA12 in Kombination mit bzw. ohne organische Düngung (einmalig Humussubstrat-Lehm-Gemisch, 0,7 l/7 l-Gefäß) auf das Wachstum geprüft. Die Angaben zu den edaphischen Eigenschaften des anlehmigen Sandbodens (Versuchsfeld, 1995/96) mit bzw. ohne organische Düngung und der Sorptionskapazität des Bodens sind in Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5: Angaben zu den edaphischen Eigenschaften des anlehmigen Sandbodens (Versuchsfeld, 1995/96) ohne und mit organischer Düngung und der Sorptionskapazität [mval/100 g Boden], Bodenanalyse[†] (mg/100 g Boden; Bodentiefe 0 - 30 cm)

Düngung	Angaben in mg/100 g Boden						pH-Wert	Salz [g/l]
	N _{gesamt}	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
ohne organische Düngung	28	10,0	18,0	4,8	25,7		6,8	0,6
mit organischer Düngung	37	15,0	22,0	8,6	33,2		6,8	0,6
Sorptionskapazität [mval/100 g Boden]								
ohne organische Düngung				6,1				
mit organischer Düngung				11,2				

[†] Es wurden Mittelwerte der monatlichen Bodenanalysen von den verschiedenen Versuchen je Standort angegeben.

Mineralische Düngung

Die Feldversuche wurden in vier Blöcken angelegt. Die Parzellenfläche pro Variante betrug 0,8 m × 1,25 m. 1991/92 wurde der Einfluß einer differenzierten Grunddüngung (Tab. 6) in Kombination mit VAM3 und PsIA12 auf das Wachstum von Tagetes 'Hawaii' im Freiland in Gefäßen (7 l) mit anlehmigem Sandboden (Versuchsfeld) geprüft.

Tab. 6: Differenzierte mineralische NPK-Düngung auf anlehmigem Sandboden (Versuchsfeld)

Düngungsstufen	Stickstoff in g N/m ² (46 % N)	Phosphor in g P/ m ² (18 % P ₂ O ₅)	Kalium in g K/ m ² (52 % K ₂ O)
ohne Düngung	-	-	-
1 N, 1 P, 1K	8,4	5,0	8,0

1992 wurden bei Tagetes 'Hawaii' die Wirkungen von Grund- und Langzeitdüngung (Tab. 7) in Kombination mit VAM3 und PsIA12 auf das Wachstum geprüft.

Tab. 7: Mineralische Grund- und Langzeitdüngung, monatliche Freisetzungsrate der Nährstoffe, Nährstoffverhältnis [%] und Düngermengen [g/m²]

Dünger	Freisetzungsrate Nährstoffe [Monate]	Verhältnis [%]				Düngermengen [g/m²]
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
Grunddüngung						
Harnstoff		46	0	0	0	11,0
Superphosphat		0	18	0	0	32,0
schwefelsaures Kalium		0	0	52	0	18,5
Langzeitdüngung						
Osmocote	5 - 6	15	10	12	2	50,0
Floranid N32	4	32	0	0	0	50,0
Floranid Master	3 - 4	16	5	10	5	50,0
Floranid Permanent	3 - 4	15	9	15	2	50,0
Triabon	3 - 4	16	8	12	4	50,0
Plantacote Depot	4	14	9	15	0	50,0

2.3 Erfassung von Klimadaten

Die Wirkungen inokulierter Mikroorganismen können unter Freilandbedingungen in Abhängigkeit von den ökologischen Faktoren stark schwanken. Deshalb wurden mögliche Einflußfaktoren erfaßt. Der Standort Berlin-Köpenick (30 m über NN) gehört zum Klimagebiet Nord-West-Brandenburg und Raum Berlin. Im Pleistozän der Eiszeit entstand eine diluviale Talsandfläche aus Mittel- und Feinsand (Umweltatlas, 1993). Die jährliche durchschnittliche Niederschlagsmenge beträgt ca. 555 - 570 mm/a. Die Messung der Klimadaten erfolgte in der Station Berlin-Schönefeld des Deutschen Wetterdienstes Potsdam und parallel dazu über die Wetterstation MEVIS T der Fa. Thies-Clima des Institutes in Berlin-Köpenick. Ausgewertet wurden Monatswerte (Temperatur) bzw. Monatssummen der Niederschläge. Die Luft- und Bodentemperaturen sowie die Luftfeuchtigkeit im Gewächshaus wurden mit Thermo- und Hydrographen und zum Vergleich mit dem Klimarechner der Fa. Krivan ermittelt.

2.4 Kultivierung und Anzucht der Wirtspflanzen

Tab. 8: Kultivierungs- und Anzuchtbedingungen der Wirtspflanzen

Kultur	Kultivierung	Zeit	Bedingungen	Tag/Nacht T [°C]	rel. LF [%]
Tagetes	Aussaat, ohne Zusatzlicht Pikieren Abhärtung Auspflanzung	Frühjahr	GH Freiland	18 - 22/14 - 17 17/14 Boden-T 14 - 16 (10 - 20 cm)	75 - 95 80
Gladiolen	Knollenlagerung (14 Tage) Treiben der Knollen Auspflanzung (Stecktiefe 8 cm)	Winter Frühjahr Frühjahr	Dunkelraum GH Freiland	10/10 26/23 ohne Zusatzlicht	65 80
Miscanthus	Auspflanzung in 7 l- Gefäße Abdeckung mit Rindenmulch (200 g/Gefäß) Entfernen der Sprosse	Herbst Winter Frühjahr	Freiland ¹ 1995 1996 1997	Luft/Boden-T ¹ 10 - 13 °C 10 - 20 °C 10 - 15 °C	Niedersch. ¹ 40 mm 40 - 160 mm 40 - 60 mm

¹ Angaben in der Vegetationsperiode von April bis Oktober im Freiland

2.5 Anzucht von AMP und Bakterien

AMP

Die Gewinnung von VAM3-Inokulum in Torf-Bentonit-(3:1)-Substrat erfolgte mit Mais (GLANTE, 1988; HÖFLICH und GLANTE, 1991). Das Isolat 49 wurde nach einem Verfahren von DEHNE und BACKHAUS (1986) in Hydrokultur an *Tagetes-Erecta-Hybriden* mit dem Trägermaterial Blähton produziert. Inokuliert wurden bei allen Versuchspflanzen 160 g VAM3-Torf-Bentonit-Präparat bzw. 250 g/m² Isolat 49-Blähton pro Variante einzeln oder in Kombination mit den Bakterien.

Bakterien

Die Anzucht der Bakterien erfolgte z.T. als Kultursuspension mit Glyzerin-Pepton-Medium (HIRTE, 1961) und z.T. als Präparat auf der Trägersubstanz Torf (HÖFLICH et al., 1987). Inokuliert wurden die Suspensionen mit einer Konzentration von 10^6 cfu je g Samen bzw. Pflanze und das Präparat 0,08 g/m² mit einem Titer von 10^8 cfu je g Präparat (Tab. 9). Die Trägersubstanzen hatten in Vorversuchen keinen Einfluß auf das Pflanzenwachstum (HÖFLICH et al., 1996).

Die Inokulation der Rhizosphärenbakterien an die Tagetessaat (6 g pro Samen) erfolgte jährlich zur Aussaat im Gewächshaus (Tab. 9). Bei Gladiolen wurden jährlich 0,6 g Bakterien-Torfpräparat pro Knolle inokuliert. Bei Miscanthus erfolgte die Beimpfung von 8,3 g Bakterien-Torfpräparat pro Wurzelballen einmalig zur Aussaat im Freiland. In Vorversuchen wurde nachgewiesen, daß die Inokulation zur Aussaat effektiver als zum Pikieren bzw. als die zweimalige Inokulation zur Aussaat und zum Pikieren war (JAHN, 1994).

Tab. 9: Inokulumformen und Inokulationsmethoden der Bakterien und AMP

Kultur	Jahr	Bakterien		AMP		Anzucht
		Suspension	Torfpräparat	Torfpräparat	Blähton	
Tagetes	1991/92	+	+	+	-	GH
	1993/94	-	+	+	-	
	1995/96	-	+	+	+	
Gladiolen	1995/96	-	+	+	+	Freiland
Miscanthus	1995	-	+	+	+	Freiland

+: angewendet, -: nicht angewendet

2.6 Bestimmung von Pflanzenwachstumsparametern

Die Auswahl der Versuchspflanzen erfolgte nach morphologisch differenzierten Pflanzentypen, nach Ein- und Mehrjährigkeit der Pflanzen und nach einfacher Ermittlung von Pflanzenwachstumsparametern. *Tagetes-Erecta-Hybriden* der Sorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen Ausgangskreuzungen und die Gladiolensorte 'Frührot' aufgrund ihrer Schnellwüchsigkeit im Vergleich zu anderen ausgewählt. Die Effektivitätsprüfung inokulierter Rhizosphärenmikroorganismen erfolgte bei allen Versuchspflanzen anhand der Sproßlängen, Sproß- und Wurzeltrockenmassen sowie der Knospen-, Trieb- und Blütenanzahlen pro Pflanze.

2.6.1 Trockenmassen

Sproß- und Wurzeltrockenmassen

Die ausgewaschenen Sprosse und Wurzeln wurden bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und dann gewogen.

Knollen- und Brutrockenmassen

Bei Gladiolen wurden auf gleiche Weise zusätzlich die Knollen- und Brutrockenmassen zur Haupt-ernte Ende August nach dreimonatiger Wachstumszeit im Freiland bestimmt.

2.6.2 Boniturverläufe

Blattanzahl, Pflanzendurchmesser

Zwei Monate nach der Inokulation wurden die Blattanzahl und der Pflanzendurchmesser von *Tagetes-Erecta-Hybriden* der Sorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' im Freiland bonitiert.

Knospenbildungs- und Blühverläufe

Von Gladiolen und *Tagetes* wurden zwei Monate nach der Inokulation die Knospenbildungs- und Blühverläufe durch wöchentliche Bonituren erfaßt. 1995/96 wurden dazu die Knospen- und Blütenanzahlen pro 100 *Tagetes* der Sorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' nach den Merkmalen „knospig“, „Blume voll erblüht“ und „Blume bei einsetzender Verwelkung“ bonitiert.

1995 erfolgten Bonituren zur Knospen- und Blütenanzahl pro 30 Gladiolen. 1996 wurden die Blütenrispen von Gladiolen in die Gruppen „voll erblüht“ und „erntefähig“ eingeteilt. Von jeder Gladiolenblütenrispe wurde die Anzahl farbezeigender und nicht farbezeigender Blütenknospen erfaßt.

Triebanzahlen pro Pflanze

Bei *Miscanthus sinensis* 'Gracillimus' wurde die Triebanzahl pro Pflanze in regelmäßigen Abständen bonitiert.

Fotografische Dokumentation

Während des gesamten Vegetationsverlaufes erfolgten jährlich unter natürlichem Tageslicht fotografische Aufnahmen mit der OLYMPUS OM 4 Ti.

2.6.3 Wurzellängen

Wurzellängenmeßgerät

Die Wurzellängen wurden mit einem Meßgerät der Fa. Commonwealth Aircraft Corporation Ltd. (Australien) gemessen. Die Berechnung erfolgte nach der Methode von NEWMAN (1966). Die Wurzeln wurden in 1 cm lange Stücke zerkleinert, gleichmäßig auf der Drehscheibe des Gerätes verteilt und 1 l Wasser zugegeben. Aus der Zahl der Unterbrechungen des Lichtstrahles durch die Wurzelstückchen errechnete das Gerät die Gesamtwurzellänge.

Bildverarbeitungsprogramm

Wurzelstücke von ca. 1 cm Länge einer Probe wurden in einer wassergefüllten Glasschale (Ø 17 cm) gleichmäßig verteilt. Die Wurzeln wurden mit der Videokamera aufgenommen und mit Hilfe des Bildverarbeitungs-Programmes IMAGE P2 'root' der Fa. H & K Meßsysteme Berlin ausgewertet. Die Berechnung der Wurzellänge erfolgte ebenfalls nach NEWMAN (1966). Das Aufnahmesystem wurde auf die eingestellte Kamerahöhe kalibriert. Bei allen Messungen blieben die Justierungen unverändert.

Sowohl das Wurzellängenmeßgerät als auch die Videokamera waren geeignete Geräte zur Messung der Wurzellänge, wobei die Messung mit der Videokamera zeitsparender war. Überschnittene Wurzeln im Bild führten zu ungenauen Meßergebnissen. Deshalb war eine gleichmäßige Verteilung der Wurzeln erforderlich. Zur Erfassung feiner durchsichtiger Wurzelstrukturen kann in weiteren Untersuchungen eine Färbung mit Trypan-Blau-Lösung (PHILLIPS und HAYMAN, 1970) hilfreich sein.

2.7 Ermittlung der Wirkungen von inokulierten AMP und Bakterien auf die nicht inokulierte Tagetes-Folgekultur

Um die Nachhaltigkeit von Inokulationswirkungen einzuschätzen, wurden ein Jahr nach Erstbeimpfung von AMP (*Glomus ssp.*, VAM3), *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4) und *Rhizobium trifolii* (R39), einzeln und kombiniert, die Wirkungen an der nicht-beimpften Folgekultur Tagetes auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) geprüft. Das Saatgut wurde breitflächig ausgesät und später pikiert. Es erfolgte keine zusätzliche Düngung. Die Mykorrhizierung der Pflanzen wurde zu mehreren Terminen nach PHILLIPS und HAYMAN (1970) bestimmt.

2.8 Bestimmung von Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung des Pflanzenwachstums

2.8.1 Ermittlung von Stoffwechselleistungen der Bakterienstämme in Reinkultur

Die Stoffwechselleistungen der Rhizosphärenbakterien können das Pflanzenwachstum stimulieren. Deshalb wurden charakteristische Eigenschaften der Bakterien in Reinkultur untersucht. Die Identifizierung der Bakterien (A1A4, R39, PslA12, PslB2, Psl2) erfolgte durch Sequenzierung der DNA (HÖFLICH und KÜHN, 1996). Die Rezepturen für die einzelnen Untersuchungen sind im Anhang II aufgeführt.

Nitrogenaseaktivität

Die Messung der Azethylenreduktion in nmol C_2H_4 /mg Protein/h wurde im CC-halbflüssigen Medium (RENNIE, 1981) unter normalem Sauerstoffdruck nach 1 h Inkubationszeit unter 10 Vol.-% Azethylen am Gaschromatographen durchgeführt (RUPPEL, 1987).

Phytohormonbildung

Die Auxine wurden modifiziert nach SARWAR et al. (1992) ermittelt.

Nitratreduktaseaktivität

Nach MÜLLER und MELCHINGER (1964) wurde das gebildete Nitrit der zu untersuchenden Bakterien bestimmt.

Phosphormobilisierung

Die Ermittlung der Phosphormobilisierung der Bakterien erfolgte nach DOMEY (1987).

Streßtoleranz

Osmotoleranz

Die Bestimmung der Toleranz gegenüber hohem osmotischem Druck erfolgte auf Glycerin-Pepton-Agar (HIRTE, 1961) unter Zugabe von 0,8 mol NaCl je Liter. Osmotolerante Stämme konnten auf diesem Nährmedium wachsen.

pH-Wert

Die pH-Wert-Toleranz wurde anhand des Wachstums der Bakterien auf Nährmedien mit differenzierten pH-Werten von 4,0 - 8,0 beurteilt.

Pektinase und Zellulase

Die Bestimmung der Pektinase und Zellulase erfolgte nach JAYASANKOV und GRAHAM (1970).

Antagonismus

Antagonistische Wechselwirkungen der Bakterien gegenüber bodenbürtigen Pathogenen wurden durch Ausbildung von Hemm- und Lysiszonen gegen *Gaeumanomyces graminis* auf Glycerin-Pepton-Agarplatten nachgewiesen.

2.8.2 Bestimmung von Prolin in gestreßten Pflanzen

Das den Betainen zugehörige Prolin wird als Trockenstreßindikator angesehen (SINGH et al., 1973). In zwei Vegetationsperioden (1995/96) wurden bei Tagetes sowohl auf urbanen anlehmigen Sandböden (Versuchsfeld) als auch auf einer Verkehrsinsel die Wirkungen von VAM3 bzw. Isolat 49 bei Trockenstreß zu mehreren Terminen untersucht. Während der Anzuchtphase wurden insgesamt je 100 l/m² auf beiden Standorten beregnet. In der Übergangsphase vom vegetativen Wachstum zur generativen Entwicklung wurde nicht beregnet. Die Bestimmung des Prolingehaltes erfolgte modifiziert nach BATES et al. (1973).

2.8.3 Ermittlung des Besiedlungsverhaltens

2.8.3.1 Ermittlung der Mykorrhizierung durch inokulierte und durch autochthone AMP

Ermittlung der Mykorrhizierung

Eine geeignete Methode zur Beurteilung der Besiedlung von AMP in Wirtspflanzenwurzeln ist die Ermittlung der Mykorrhizierung. Die Mykorrhizierungsrate wurde in regelmäßigen Abständen während der Vegetationsperiode bestimmt. Dazu wurde eine repräsentative Wurzelanzahl der verschiedenen Versuchspflanzen entnommen. Die gewaschenen Wurzeln wurden in 1 cm lange Stücke zerkleinert. Aus jedem Wurzelabschnitt, bevorzugt feine Endwurzeln und laterale Wurzeln (ZOBEL, 1986), wurden Proben entnommen, die entweder in AFE-Lösung nach GERLACH (1969) oder in 70 % Ethanol fixiert wurden. Das anschließende Anfärben der Wurzeln erfolgte modifiziert nach PHILLIPS und HAYMAN (1970) mit Trypan-Blau-Lösung. Pro Pflanze wurden 100 zufällig ausgewählte Wurzelstücken unter dem Mikroskop (Vergrößerung 40×) auf Myzel, Arbuskeln und Vesikel bonitiert. Die Mykorrhizierungsrate wurde als prozentualer Anteil mykorrhizierter Wurzeln angegeben.

Histologische Untersuchungen AMP-inokulierter Wurzeln

Zur detaillierteren Beurteilung von AMP-infizierten Wurzeln und zur Charakterisierung typischer AMP-Strukturen in der Wurzel wurden histologische Untersuchungen durchgeführt. AMP-infizierte Wurzelstücke wurden nach Entlüftung 24 h in Carnoy'scher Lösung (6 Teile 96% Alkohol, 1 Teil Eisessig, 3 Teile Chloroform) fixiert. Die Entwässerung der Wurzeln erfolgte schrittweise durch zweimaliges Einlegen in Ethylenglycolmonoethylether 12 h bei Zimmertemperatur. Anschließend wurden die Wurzeln in aufsteigender Alkoholreihe (Ethanol, Propanol, n-Butanol) zweimal 12 h umgesetzt. Die Einbettung der Proben erfolgte 24 h unter Lichtabschluß in kalter Vorbereitungslösung (100 ml Technovit 7100 Fa. Kulzer und 1 g Härter I). Die Proben wurden anschließend in 20 ml Vorbereitungslösung unter Zusatz von 2 ml Härter II umgestellt. Abschließend polymerisierten die Blöcke 1 h in 6 ml Technovit-

Lösung 3040, der 10 g Technovit-Pulver 3040 zugegeben wurden. Nach 24 h konnten die Blöcke am Mikrotom (Fa. Leica) in einer Stärke von 8 µm geschnitten und nach 30 s Toluidinblau-Färbung getrocknet werden. Die Fotoaufnahmen erfolgten bei 40facher Vergrößerung mit dem 'Jenaval Contrast'-Mikroskop (Fa. Carl Zeiss Jena).

Ermittlung der autochthonen AMP-Sporenanzahl

Untersuchungen zu autochthonen AMP-Chlamydosporen im anlehmigen Sandboden (Berlin-Köpenick) zu verschiedenen Jahreszeiten wurden zur Beurteilung von standortspezifischem Vorkommen und zur taxonomischen Einordnung von AMP-Gattungen durchgeführt. Dazu wurde jeweils 100 g lufttrockener Boden in Wasser suspendiert und der Bodensiebmaschine der Fa. Retsch zugeführt. Anschließend wurde der Boden durch Naßsiebung extrahiert (GERDEMANN und NICOLSON, 1963). Die Weiterbearbeitung der Proben erfolgte modifiziert nach LAND (1990). Die nicht sichtbaren Sporen wurden in Ringerlösung (Anhang II) überführt. Nach der Auszählung isolierter Sporen unter dem Stereomikroskop (Vergrößerung 40×) erfolgte eine taxonomische Klassifizierung nach WALKER (1992) und nach dem „Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi“ (SCHENCK und PEREZ, 1987) in die AMP-Gattungen. Dauerpräparate von Chlamydosporen wurden durch Zugabe von Polyvinylalkohol mit Lactophenol (Anhang II) hergestellt. Charakteristische Sporen wurden mit dem Fotomikroskop Axiophot (Fa. Carl Zeiss Jena) dokumentiert.

Bestimmung der Most Probable Number autochthoner AMP

Durch mikroskopische Erfassung können selten alle vorhandenen AMP-Vermehrungsstrukturen ermittelt werden. Im Gegensatz dazu ermöglichte die Most-Probable-Number-(MPN)-Methode die Ermittlung des gesamten infektiösen AMP-Potentials im Boden. Die Anzahl infektiöser autochthoner AMP-Strukturen an Tagetes wurde vom anlehmigen Sandboden (Berlin-Köpenick) unter Gefäßbedingungen im Herbst 1995 und im Frühjahr 1996 bestimmt. Die zur Wurzelbesiedlung fähigen Vermehrungsorgane wurden in einzelnen Töpfen aufeinanderfolgender Verdünnungsstufen nachgewiesen. Dieses Schätzverfahren beruht auf der Errechnung der maximalen Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins oder der Abwesenheit von infektiösen AMP-Strukturen (COCHRAN, 1950; ALEXANDER, 1965; NORRIS et al., 1994). Teile des Originalbodens wurden wie folgt behandelt:

Substrat A: Freilandboden unsterilisiert, gesiebt (Siebgröße 0,5 cm), luftgetrocknet
Substrat B: autoklaviert, gesiebt, luftgetrocknet
Substrat C: sterilisiert ungesiebt

250 ml-Töpfe wurden mit 150 g Substrat C befüllt. Das Substrat A wurde mit dem autoklavierten Boden im Verhältnis 1 : 4 verdünnt und jeweils 50 g der insgesamt acht Verdünnungsstufen in die Töpfe gegeben. Die Kontrolle erhielt den unbehandelten Freilandboden in der Mittelschicht. Abschließend wurden 50 g Substrat C pro Topf gegeben. Zur Aussaat kamen sechs Tagetes pro Topf. Die Kultivierungsbedingungen sind in Tab. 8 beschrieben. Nach einem Monat Inkubationszeit wurde das gesamte Bodenvolumen aller Töpfe entnommen. Nur die mittlere Verdünnungsschicht wurde verwendet. Die Wurzeln wurden in AFE-Lösung (GERLACH, 1969) fixiert. Nach modifizierter Trypan-Blau-Färbung der Wurzeln (PHILLIPS und HAYMAN, 1970) wurden diese auf An- oder

Abwesenheit von AMP-Strukturen unter einem Binokular der Fa. Pabisch KG (Vergrößerung 40 x) bonitiert. Jedes einzelne infizierte Wurzelstückchen zählte als positive Reaktion. Die Berechnung der MPN-Anzahl und der Vertrauensbereiche erfolgte nach folgender Formel (FISHER und YATES, 1974):

$$\log \Omega = x \cdot \log a - k$$

Ω : Anzahl der infektiösen Strukturen

$$x = \frac{\text{Gesamtanzahl der infizierten Wurzeln}}{\text{Anzahl der Wiederholungen pro Verdünnung}}$$

a : Verdünnungsfaktor = 4 (im Falle einer vierfachen Verdünnung)

k : konstanter Faktor (FISHER und YATES, 1974) zur Bestimmung von x oder y

$$y = s - x$$

y : Verdünnungsstufen

s : Anzahl der Verdünnungsstufen

Es wurde für den Boden ein Wassergehalt von 8 % ermittelt. Eine Umrechnung auf 100 g lufttrokkenen Boden war zur Standardisierung der MPN-Ergebnisse erforderlich. Die abschließende Berechnung der Vertrauensbereiche erfolgte nach der Formel:

$$\log \Omega_{s,i} = \log \Omega \pm \frac{s \Omega}{\sqrt{n}} \cdot z$$

S = $\sqrt{0,201}$ bei einer vierfachen Verdünnung

n : Anzahl Wiederholungen pro Verdünnung (FISHER und YATES, 1974)

z : 1,645 für a=4 bei einer Wahrscheinlichkeit von 95 %

$\log \Omega_s$: höchste MPN-Anzahl bei einer Wahrscheinlichkeit von 95 %

$\log \Omega_i$: niedrigste MPN-Anzahl bei einer Wahrscheinlichkeit von 95%

2.8.3.2 Ermittlung des Besiedlungsverhaltens inokulierter Bakterien in der Rhizosphäre

Eine Voraussetzung zur Förderung des Pflanzenwachstums ist die Besiedlung, das Überleben und die Vermehrung der inokulierten Bakterien in der Rhizosphäre der Wirtspflanzenwurzeln während der Vegetationsperiode. Deshalb erfolgte in zwei Jahren die Ermittlung des Besiedlungsverhaltens nach Inokulation antibiotikaresistenter Mutanten von Rhizosphärenbakterien (120 ppm) zur Zeit des Auspflanzens und zur Blüte im Freiland durch Reisolierung der Bakterien aus Wurzelabschnitten der samenbeimpften Tagetes und der knollenbeimpften Gladiolen. Nach Abernten des Pflanzenbestandes wurde Boden- und Wurzelmaterial sechs Monate lang trocken bei 10 °C gelagert. Die Wiederbesiedlung der Bakterien wurde an der nichtinokulierten Folgekultur Tagetes ein Jahr nach Erstinokulation im Gewächshaus geprüft. Dazu wurde eine Mischprobe aus 1 g Wurzeln und 9 ml 0,05 M physiologischer Kochsalzlösung gebildet. Der Stammlösung wurde 3 % TMTD zur Hemmung

von Pilzkeimen zugesetzt. 0,1 ml wurde nach der Verdünnungsmethode (HIRTE, 1961) auf Glycerin-Pepton-Agarplatten in dreifacher Wiederholung ausplattiert. Durch Zugabe von 120 ppm Rifampicin zum Anzuchtmedium wurde nur das Wachstum der markierten Impfstämme gefördert. Nach einer Inkubationszeit von 12 Tagen bei 28 °C erfolgte die Bestimmung der Anzahl koloniebildender Einheiten (cfu) pro Bakterienstamm.

WIEHE et al. (1995) wiesen die Identität der Reisolat mit den inokulierten Ausgangsstämmen serologisch nach qualitativem ELISA-Test mit stammspezifischen Polyclonalen nach.

2.8.3.3 Bestimmung von Bakterien und Pilzen aus der autochthonen Wildpopulation der Rhizosphäre

Vor der Inokulation wurden Mischproben von den Gladiolen- und Tagetesböden bzw. -wurzeln entnommen. Anschließend erfolgte die Isolierung und Identifizierung ausgewählter bakterieller und pilzlicher Mikroben der Wildpopulation der Rhizosphäre.

Die natürliche Bakterienpopulation wurde auf Glycerin-Pepton-Agar nach HIRTE (1969a,b) ermittelt. Dazu erfolgte zunächst nach makro- und mikromorphologischen Merkmalen über Bestimmungsschlüssel eine Einteilung in Typen und anschließend die Ermittlung der Typenanteile an der Gesamtzahl. Nach der Methode von MILLER (1982) bzw. SASSER und MILLER (1984) wurden typenspezifische Isolate durch Analyse der zellulären Fettsäuremethylesterprofile mit Hilfe des „Microbial Identification System“ (MIS, Microbial ID Inc., Newark, USA) identifiziert (LISTE, 1992; HÖFLICH et al., 1996). Die qualitative und quantitative Auswertung der Pilze erfolgte auf Bio-malzagar (Anhang II).

2.9 Statistische Auswertung

Die varianzanalytische Auswertung der Daten wurde mit dem Statistikprogramm SPSS (BÜHL und ZÖFEL, 1994) durchgeführt. Multiple Mittelwertvergleiche erfolgten nach Tukey mit einem Signifikanzniveau von 5 % (KÖHLER et al., 1984) und der Vergleich von zwei Mittelwerten nach dem t-Test (SACHS, 1992). Wenn die Voraussetzungen für die Varianzanalyse nicht gegeben waren, wurden nichtparametrische Tests (LOZÁN, 1992) mit anschließendem Nemenyi-Test durchgeführt. Da es sich dann um Rangvarianzanalysen handelte, konnten keine Grenzdifferenzen angegeben werden. Die Auswertung der Knospen- und Blütenanzahlen pro Pflanze erfolgte z.T. über Gruppenbildung und anschließender Signifikanzprüfung nach dem Chi-Quadrat-Test. Signifikante Unterschiede sind in den Tabellen fett und in den Abbildungen mit einem Stern gekennzeichnet (*).

3 Ergebnisse

3.1 Einfluß von AMP und Bakterien auf das Wachstum und den Zierwert

Die Leistungsfähigkeit von arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) einzeln und kombiniert mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2, Psl2) wurde in Gefäß- und Freilandversuchen auf urbanen anlehmigen Sandböden (Versuchsfeld, Verkehrsinsel) an Tagetes, Gladiolen und Miscanthus untersucht. Effektivitätskriterien für die Wirkungen inokulierter Mikroorganismen waren das vegetative Wachstum und die generative Entwicklung dieser Pflanzen.

3.1.1 Tagetes

Bereits im Jungpflanzenstadium stimulierten inokulierte Mikroorganismen wie beispielsweise VAM3 deutlich das vegetative Wachstum im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 1). Tagetes gewannen dadurch langanhaltende Wachstumsvorteile.



Abb. 1: Einfluß von VAM3 auf das Wachstum der Tagetessorte 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996; links Kontrollpflanzen, rechts VAM3-inokulierte Pflanzen zwei Wochen nach Auspflanzung im Freiland

Einfluß auf das vegetative Wachstum

1996 wurden die Sproßlängen und die Pflanzendurchmesser durch alle inokulierten Mikroorganismen im Jungpflanzenstadium im Freiland sieben Wochen nach Inokulation bei beiden Tagetessorten einheitlich signifikant im Vergleich zur Kontrolle gefördert (Tab. 10). Zwischen den Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zeichneten sich bereits bei der Kontrolle sortenspezifische Unterschiede ab. Auf anlehmigem Sand wurden bei besserem Wachstum der Tagetessorte 'Hawaii' geringere Inokulationswirkungen als bei der Tagetessorte 'Yellow Supreme' erzielt (Tab. 10). Die Effekte waren trotzdem signifikant. Positiv wirkten bei beiden Tagetessorten Psl2 und die Kombination von VAM3 mit R39. Durch die Kombination von VAM3 mit den Rhizosphärenbakterien wurden die Einzelwirkungen nicht eindeutig verbessert.

Tab. 10: Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge und Pflanzendurchmesser der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' im Jungpflanzenstadium sieben Wochen nach Inokulation auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=40, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$

Variante	'Hawaii'		'Yellow Supreme'	
	Sproßlänge [cm]	Pflanzendmr. [cm]	Sproßlänge [cm]	Pflanzendmr. [cm]
Kontrolle	20,1	15,4	16,9	14,1
VAM3	26,8	18,5	33,4	20,2
Isolat 49	26,5	18,1	28,7	20,8
PslA12	27,1	17,9	33,6	21,1
PslB2	27,4	19,0	30,5	19,5
Psl2	28,2	18,8	34,6	21,0
R39	24,6	18,9	33,3	20,1
A1A4	24,4	17,5	33,3	19,2
VAM3+PslA12	23,9	17,9	35,3	21,6
VAM3+PslB2	25,4	18,9	35,5	20,6
VAM3+Psl2	24,4	17,9	32,4	26,7
VAM3+R39	27,8	18,9	36,6	21,0
VAM3+A1A4	26,6	18,4	33,6	21,5
Tukey 0,05	3,0	2,0	(Nemenyi)	(Nemenyi)

Zur Haupternte 1995 förderten bei der Tagetessorte 'Hawaii' alle inokulierten Mikroorganismen die Wurzeltrockenmasse (Tab. 11). A1A4 förderte besonders effektiv die Sproßlänge und die Sproßtrockenmasse von Tagetes. Die größte Wurzeltrockenmasse wurde durch PslA12 und die größte Sproßlänge durch die Kombination von VAM3 mit Psl2 erreicht. Die Kombinationen von VAM3 mit PslA12 bzw. R39 förderten zusätzlich die Sproßtrockenmasse gegenüber den Einzelbeimpfungen (Tab. 11). Die Sproßlängen und Sproßtrockenmassen wurden durch die Kombinationen PslA12 bzw. Psl2 mit VAM3 effektiv gefördert. Die Bakterienkombinationen zeigten im Vergleich zu den anderen inokulierten Mikroorganismen geringe Wirkungen.

Tab. 11: Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Sproß- und Wurzeltrockenmasse bei Tagetes 'Hawaii' zur Haupternte im Oktober 1995 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=70, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$

Variante	Sproßlänge [cm]	TM Sproß [g]	TM Wurzel [g]
Kontrolle	66,7	6,9	3,7
VAM3	67,9	25,4	14,8
PslA12	64,0	22,0	24,2
PslB2	68,3	23,7	20,2
Psl2	75,0	20,6	15,3
R39	73,9	22,5	20,8
A1A4	81,7	33,4	17,7
VAM3+PslA12	68,3	26,5	17,5
VAM3+PslB2	75,8	23,4	13,4
VAM3+Psl2	80,5	26,1	21,8
VAM3+R39	71,8	22,3	22,8
VAM3+A1A4	64,8	18,0	17,8
PslB2+R39	59,4	29,9	22,4
PslA12+R39	67,5	22,4	16,1
PslA12+A1A4	60,2	21,3	21,5
PslB2+A1A4	59,1	22,5	12,8
Tukey 0,05	5,7	(Nemenyi)	(Nemenyi)

Zur Haupternte 1996 wurden bei der Tagetessorte 'Hawaii' durch die inokulierten Mikroorganismen meist die Sproßlänge und die Sproßtrockenmasse signifikant gesteigert. Die Wurzeltrockenmasse wurde z.T. gegenüber der Kontrolle signifikant gefördert (Tab. 12). Bei dieser Tagetessorte wirkte R39 besonders positiv. Durch die Kombinationen wurden überwiegend keine zusätzlichen Wachstumsstimulierungen erzielt.

Bei der Tagetessorte 'Yellow Supreme' wurden zur Haupternte im Oktober 1996 durch alle inokulierten Mikroorganismen Sproßlänge und Sproß- bzw. Wurzeltrockenmasse gesteigert (Tab. 12). VAM3 förderte die Wurzeltrockenmasse nicht signifikant. VAM3 mit Psl2 bzw. PslA12 waren besonders effektiv. Die kombinierten Inokulationen mit VAM3 bewirkten im Vergleich zur Einzelinokulation eine zusätzliche Förderung des vegetativen Wachstums zur Haupternte (Tab. 12). Die Inokulationswirkungen waren bei 'Yellow Supreme' im Vergleich zur Tagetessorte 'Hawaii' besser.

Tab. 12: Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Sproß- und Wurzeltrockenmasse bei den Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$

Varianten	'Hawaii'			'Yellow Supreme'		
	Sproßlänge [cm]	TM Sproß [g]	TM Wurzel [g]	Sproßlänge [cm]	TM Sproß [g]	TM Wurzel [g]
Kontrolle	61,8	26,0	5,5	49,4	19,1	3,3
Isolat 49	70,3	54,4	7,0	62,5	39,9	7,2
VAM3	67,8	43,6	8,1	59,7	32,4	5,4
PslA12	69,9	46,1	8,6	58,9	42,0	9,1
PslB2	65,6	36,2	7,2	61,3	40,8	13,3
Psl2	68,0	44,4	10,0	63,7	45,3	12,1
R39	71,5	40,9	15,5	60,7	35,6	8,6
A1A4	68,7	40,6	8,2	62,8	39,7	8,5
VAM3+PslA12	68,1	50,2	9,6	65,9	55,8	11,5
VAM3+PslB2	68,2	33,2	6,0	66,9	44,6	12,8
VAM3+Psl2	70,8	31,3	6,2	63,1	37,2	15,7
VAM3+R39	70,2	42,0	8,6	61,1	47,2	14,3
VAM3+A1A4	66,3	42,5	9,8	63,4	56,2	12,8
Tukey, 0,05	5,0	(Nemenyi)	(Nemenyi)	4,4	(Nemenyi)	(Nemenyi)

Einfluß auf die Wurzellängen

1996 wurden die Wurzellängen von Tagetes der Sorte 'Hawaii' durch PslB2 bzw. R39 nach einem Monat in der Klimakammer unter kontrollierten Versuchsbedingungen auf anlehmigem Sand signifikant gesteigert (Tab. 13).

Tab. 13: Einfluß inokulierter Bakterien auf die Wurzellänge der Tagetessorte 'Hawaii' nach einem Monat in der Klimakammer auf anlehmigem Sand 1996, n=14, Kontrolle=100%, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

Bakterienstamm	Wurzellänge [%]
Kontrolle	100
PslA12	[26,7] [†]
PslB2	124
R39	156
Tukey, 0,05	43

[†] m/Pflanze

1995 zur Endblüte von Tagetes 'Hawaii' erhöhten alle inokulierten Mikroorganismen signifikant die Wurzellänge unter Feldbedingungen auf anlehmigem Sand im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 2). Die Kombination von VAM3 mit R39 war besonders effektiv. Die Kombinationen verbesserten z.T. die Einzelwirkungen.

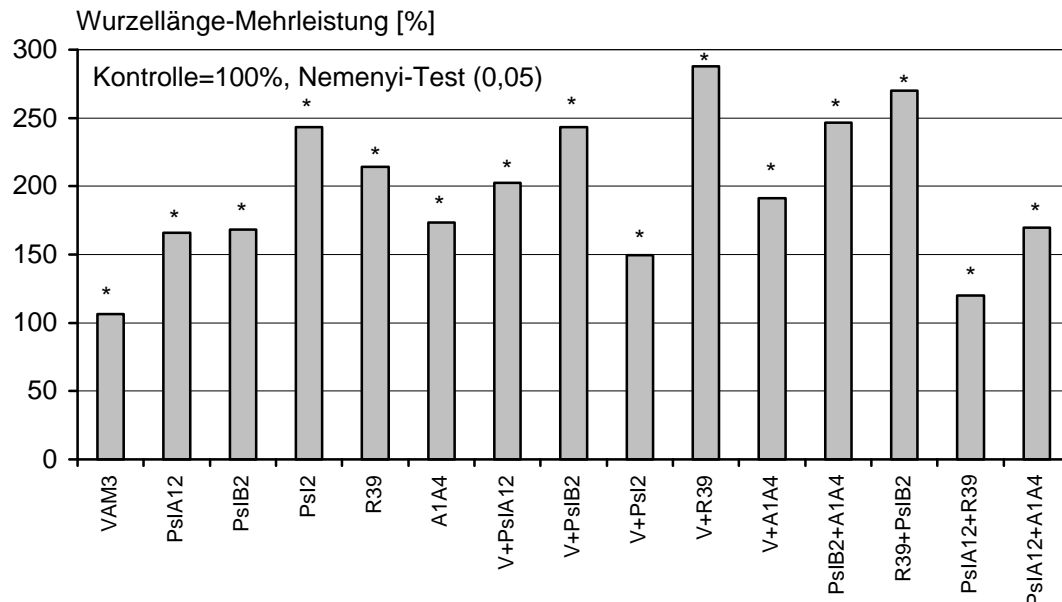


Abb. 2: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Wurzellänge der Tagetessorte 'Hawaii' zur Endblüte 1995 nach fünf Monaten Vegetationszeit auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), Kontrolle=100%, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Zusammenfassung der Einflüsse auf das vegetative Wachstum

Bereits im Jungpflanzenstadium stimulierten inokulierte Mikroorganismen deutlich das vegetative Wachstum. Tagetes gewannen dadurch langanhaltende Wachstumsvorteile. 1995/96 wurde bei beiden Tagetessorten durch inokulierte Mikroorganismen deutlich die Wurzeltrockenmasse gefördert. Die Sproßlänge und die Sproßtrockenmasse wurden in einem Jahr gering, im Folgejahr jedoch überwiegend gesteigert. Die Kombinationen mit VAM3 waren nicht generell positiv. Die Tagetessorte 'Yellow Supreme' reagierte besonders deutlich. In zwei Jahren führte bei Tagetes 'Hawaii' die Beimpfung mit *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4) zur signifikanten Steigerung der Sproßlänge, der Sproß- und Wurzeltrockenmasse. 1995 wurden die Wurzellängen von Tagetes der Sorte 'Hawaii' durch inokulierte Bakterien sowohl in der Klimakammer als auch durch alle inokulierten Mikroorganismen zur Endblüte unter Feldbedingungen auf anlehmigem Sand gefördert.

Einfluß auf den Zierwert

Eine Verfrühung der generativen Entwicklung bei Zierpflanzen spielt im Zierpflanzenbau eine wichtige Rolle. 1995/96 wurde der Knospenbildungsverlauf von Tagetes 'Hawaii' an je 100 Pflanzen in Abhängigkeit von den inokulierten Mikroorganismen über mehrere Monate in regelmäßigen Abständen erfaßt. 1995 stimulierten VAM3, PsIA12 und die Bakterienkombination von PsIB2 mit A1A4 deutlich die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Tab. 14).

Tab. 14: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Hawaii' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Knospenanzahl pro 100 Pflanzen			
	04.08.1995	09.08.1995	14.08.1995	19.08.1995
Kontrolle	1	5	7	29
VAM3	8	18	21	78
PsIA12	11	23	28	61
PsIB2	5	8	15	53
PsI2	4	8	12	55
R39	6	6	13	65
A1A4	3	10	10	34
VAM3+PsIA12	6	8	12	37
VAM3+PsIB2	4	12	31	28
VAM3+PsI2	0	2	3	16
VAM3+R39	7	7	12	37
VAM3+A1A4	11	11	12	31
PsIB2+R39	12	13	16	40
PsIB2+A1A4	6	17	21	43
PsIA12+R39	9	15	16	50
PsIA12+A1A4	9	11	12	27

Die Kombination von VAM3 mit PsI2 war nicht effektiv. A1A4 und die Kombinationen von VAM3 mit PsI2 bzw. R39 zeigten die geringsten Wirkungen.

Die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen wurde besonders durch PsIA12 und die Kombination von VAM3 mit R39 gefördert. Die Bakterienkombinationen PsIB2 mit R39 sowie PsIB2 mit A1A4 waren effektiver als die Einzelwirkungen (Anhang IV, Tab. A9).

Auch 1996 förderte bei der Tagetessorte 'Hawaii' die Einzel- und kombinierte Inokulation von VAM3 mit PsIB2 besonders die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen in der Anfangsphase der Knospenbildung (Tab. 15). Die geringste Wirkung zeigte A1A4.

Tab. 15: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Hawaii' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Knospenanzahl pro 100 Pflanzen		
	26.06.1996	03.07.1996	08.07.1996
Kontrolle	2	6	17
VAM3	7	19	21
Isolat 49	4	13	24
PsIA12	4	11	23
PsIB2	9	19	30
PsI2	7	18	31
R39	7	12	18
A1A4	3	15	26
VAM3+PsIA12	6	12	16
VAM3+PsIB2	11	17	21
VAM3+PsI2	4	14	23
VAM3+R39	9	19	24
VAM3+A1A4	6	20	23

1996 wurde bei Tagetes 'Hawaii' die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen durch alle inokulierten Mikroorganismen signifikant in der Anfangsphase des Blühverlaufes stimuliert. VAM3, PsIB2 bzw. VAM3 mit R39 waren besonders effektiv (Abb. 3).

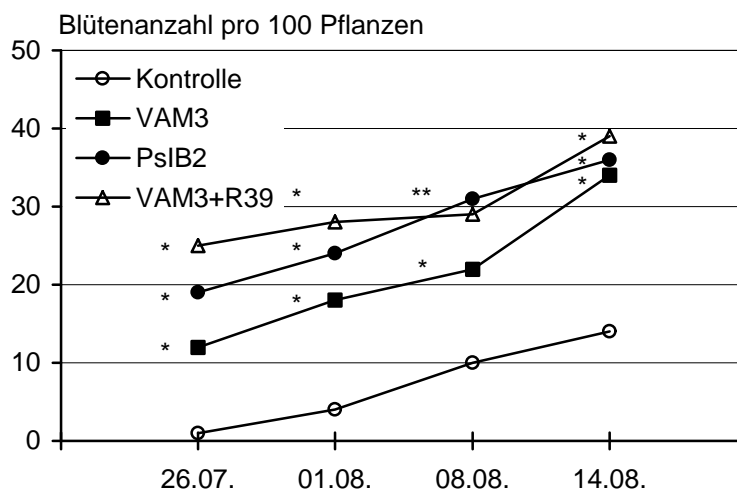


Abb. 3: Einfluß von VAM3, PsIB2 und VAM3 mit R39 auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Hawaii' im Verlauf von drei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Es zeichneten sich keine weiteren positiven Kombinationseffekte von VAM3 mit anderen Bakterien ab (Anhang IV, Tab. A10). Die geringste Wirkung zeigte in der Anfangsphase der Blütenbildung wiederholt die Einzel- und kombinierte Inokulation von A1A4 (Abb. 3).

1996 erhöhten inokulierte Mikroorganismen die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Yellow Supreme' zu Beginn der generativen Entwicklung deutlicher im Vergleich zur Sorte 'Hawaii' (Tab. 16). Kontrollpflanzen konnten diesen Entwicklungsvorsprung nicht kompensieren und bildeten verzögert Knospen und Blüten pro 100 Pflanzen.

Tab. 16: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Yellow Supreme' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Knospenanzahl pro 100 Pflanzen		
	26.06.1996	03.07.1996	08.07.1996
Kontrolle	2	8	28
VAM3	19	38	40
Isolat 49	13	28	37
PsIA12	11	33	40
PsIB2	19	30	39
PsI2	18	36	40
R39	12	33	40
A1A4	15	40	40
VAM3+PsIA12	12	38	40
VAM3+PsIB2	17	40	44
VAM3+PsI2	14	28	37
VAM3+R39	19	38	40
VAM3+A1A4	20	40	40

1996 wurde die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen von Tagetes 'Yellow Supreme' insbesondere durch VAM3, PsIA12 bzw. VAM3 mit PsIB2 besonders gefördert (Abb. 4). Es zeichneten sich keine weiteren positiven Kombinationseffekte ab (Anhang IV, Tab. A11).

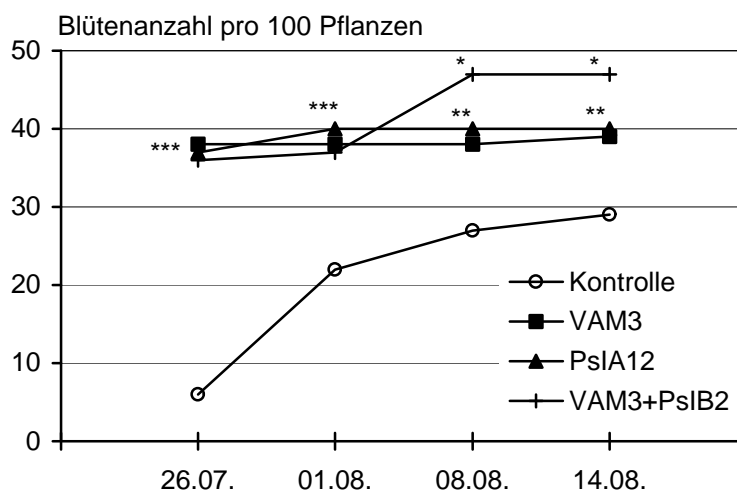


Abb. 4: Einfluß von VAM3, PsIA12 und VAM3 mit PsIB2 auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Yellow Supreme' im Verlauf von drei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$



Abb. 5: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro Pflanze der Tagetessorte 'Yellow Supreme', dem anlehmigen Sand des Versuchsfeldes vier Monate nach Inokulation 1996 entnommen; von links nach rechts: Isolat 49, R39, VAM3 und Kontrolle

1996 wurden nur bei der Tagetessorte 'Yellow Supreme' durch alle inokulierten Mikroorganismen signifikant mehr Knospen und Blüten pro Pflanze langanhaltend bis zur Haupternte im Oktober im Vergleich zur Sorte 'Hawaii' gebildet. Zum Teil waren die Kombinationen effektiver als die Einzelinokulationen (Abb. 6).

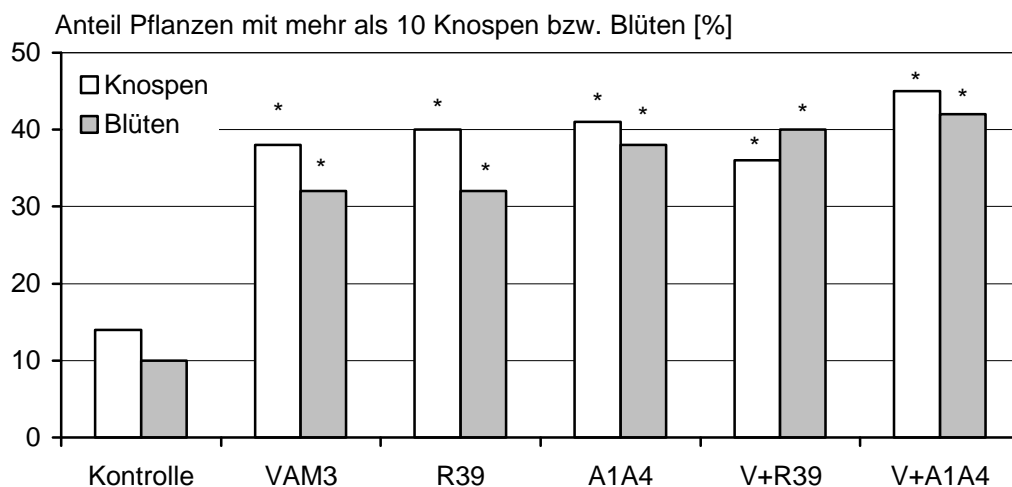


Abb. 6: Einfluß von AMP und Bakterien auf den Anteil von Pflanzen mit mehr als zehn Knospen bzw. Blüten [%] der Tagetessorte 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 nach sechs Monaten Vegetationszeit auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Generell wurde durch alle inokulierten Mikroorganismen der Anteil Pflanzen mit mehr als 10 Knospen bzw. Blüten erhöht. Die kombinierte Inokulation von VAM3 mit A1A4 war effektiver als die Einzelinokulation. R39 mit VAM3 führte zur erhöhten Blütenanzahl pro Pflanze im Vergleich zur Einzelwirkung (Abb. 6). Die geringsten Wirkungen wurden durch Isolat 49 erzielt. Die Übersichtstabellen zu den Knospen- und Blütenanzahlen von Tagetes beider Sorten zur Haupternte im Oktober 1996 sind im Anhang IV (Tab. A6, A7, A8) zu finden.

Zusammenfassung der Einflüsse auf den Knospenbildungs- und Blühverlauf

Knospenbildung

1995 und 1996 stimulierten bei der Tagetessorte 'Hawaii' und 1996 bei 'Yellow Supreme' inokulierte Einzelmikroorganismen von AMP bzw. Bakterien die Knospenbildung pro 100 Pflanzen. Kombinationen von VAM3 mit Bakterien bzw. Bakterienkombinationen verbesserten die Wirkungen der Einzelinokulationen in der Regel nicht anhaltend. 1996 wurden nur bei der Tagetessorte 'Yellow Supreme' durch alle inokulierten Mikroorganismen signifikant mehr Knospen pro Pflanze langanhaltend bis zur Haupternte im Oktober im Vergleich zur Sorte 'Hawaii' auf anlehmigem Sand gebildet.

Blühverlauf

1995 stimulierten bei Tagetes inokulierte Mikroorganismen z.T. die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen vom Beginn der generativen Entwicklung an. Diese Effekte waren nicht langanhaltend über den gesamten Vegetationsverlauf. 1996 förderten alle inokulierten Mikroorganismen bei der Tagetessorte 'Yellow Supreme' im Vergleich zur Sorte 'Hawaii' vom Beginn an mehr Blüten (Abb. 5). Die Wirkungen waren bis zur Haupternte im Oktober anhaltend (Tab. 17). Die Verfrühung der Knospen- und Blütenbildung bei Tagetes führte zu einer früher erreichten Blütenmehrleistung und zur Leistungsverlängerung bei beiden Tagetessorten.

Tab. 17 Übersicht der Wirkungen ausgewählter AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro Pflanze der Tagetessorte 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) zur Haupternte im Oktober 1993 - 1996, n=100, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Jahr	Kontrolle	Blütenanzahl pro Pflanze	
		VAM3	PsIA12
1993	2,0	4,0	4,5
1994	2,3	4,5	5,0
1995	2,9	3,0	2,7
1996 ¹	5,7	8,9	10,4
1996	5,2	6,3	6,9

¹ Tagetessorte 'Yellow Supreme'

3.1.2 Gladiolen

Einfluß auf das vegetative Wachstum

Besonders züchterisch bearbeitete Hochleistungssorten mit geringer Wurzel Ausbildung wie *Gladiolus-Hybriden* 'Frührot' sind streßempfindlich und konnten mit wachstumsstimulierend wirkenden AMP und Bakterien z.T. besser auf nährstoffarmen anlehmigen Sandböden wachsen.

1995 stimulierten die inokulierten Mikroorganismen sehr differenziert nur bestimmte Pflanzenteile der Gladiolen. Die Bruttrockenmasse wurde z.T. signifikant von PsIA12, PsI2 und R39 erhöht. Die Sproßrockenmasse wurde durch die Einzelmikroorganismen stimuliert, positive Kombinationswirkungen zeichneten sich nicht eindeutig ab. Das Wurzel- und Knollenwachstum wurde von Isolat 49 stimuliert. Positive Kombinationswirkungen zeichneten sich beim Wurzelwachstum durch VAM3 mit R39 ab. Die Kombination von VAM3 mit PsIA12 stimulierte Sproßlänge und -trockenmasse (Tab. 18). Durch Kombinationen der anderen Mikroorganismen wurden keine zusätzlichen Wirkungen erzielt.

Tab. 18: Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Sproß-, Knollen-, Brut- und Wurzeltrockenmasse bei Gladiolen der Sorte 'Frührot' im Erntestadium nach vier Monaten Vegetationszeit auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=30, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Variante	Sproßlänge [cm]	TM Sproß [g]	TM Knolle [g]	TM Brut [g]	TM Wurzel [g]
Kontrolle	39,0	2,7	8,4	2,2	0,13
Isolat 49	38,6	3,4	11,4	3,0	0,24
VAM3	40,8	4,1	10,4	1,5	0,12
PsIA12	34,9	3,4	2,4	11,3	0,16
PsIB2	36,7	4,2	8,1	1,6	0,15
PsI2	29,8	3,3	1,8	8,6	0,16
R39	43,9	3,8	2,2	12,2	0,16
A1A4	35,9	3,5	13,3	1,7	0,11
VAM3+PsIA12	48,4	4,4	11,0	2,7	0,13
VAM3+PsIB2	31,4	3,4	7,4	1,3	0,18
VAM3+PsI2	41,0	3,6	10,5	1,8	0,14
VAM3+R39	39,8	4,1	10,9	1,8	0,28
VAM3+A1A4	37,3	3,6	11,4	2,6	0,14
PsIB2+R39	30,7	2,5	5,8	1,9	0,15
PsIA12+R39	40,7	3,4	10,4	3,1	0,12
PsIA12+A1A4	32,3	2,7	6,1	1,3	0,22
PsIB2+A1A4	30,4	2,5	7,3	1,5	0,11

1996 wurden im Vergleich zum Vorjahr von mehr inokulierten Mikroorganismen die Wurzel-, Sproß- und Brutrockenmasse signifikant gesteigert. Die Kombination von Psl2 mit VAM3 erhöhte signifikant die Sproßlänge, Wurzel-, Sproß- und Brutrockenmasse bei Gladiolen (Tab. 19). Durch kombinierte Inokulationen mit VAM3 wurde insbesondere die Brutrockenmasse im Vergleich zur Kontrolle signifikant erhöht. Die Knollentrockenmasse wurde durch die inokulierten Mikroorganismen in der Tendenz, aber nicht signifikant gesteigert.

Tab. 19: Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Sproß-, Knollen-, Brut- und Wurzeltrockenmasse bei Gladiolen der Sorte 'Frührot' im Erntestadium nach vier Monaten Vegetationszeit auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=44, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Variante	Sproßlänge [cm]	TM Sproß [g]	TM Knolle [g]	TM Brut [g]	TM Wurzel [g]
Kontrolle	54,4	5,4	11,6	1,1	0,43
Isolat 49	60,4	6,5	14,9	2,0	0,42
VAM3	61,4	6,0	12,9	2,0	0,38
PslA12	54,9	6,7	15,5	2,0	0,32
PslB2	58,7	6,7	14,7	2,3	0,52
Psl2	58,0	6,4	13,2	2,0	0,49
R39	54,4	5,9	11,1	1,4	0,43
A1A4	57,2	5,6	11,0	1,6	0,42
VAM3+PslA12	60,4	6,0	11,7	2,3	0,45
VAM3+PslB2	53,6	5,1	10,3	1,9	0,36
VAM3+Psl2	64,4	6,6	14,5	2,8	0,50
VAM3+R39	60,7	5,6	13,5	2,3	0,54
VAM3+A1A4	59,6	6,3	13,1	2,2	0,34

Einfluß rifampicinresistenter Mutanten von Bakterien auf das vegetative Wachstum

Die für Überlebensversuche wichtigen antibiotikaresistenten Mutanten von A1A4, PslA12 und R39 führten zur signifikanten Erhöhung der Sproßlänge (Abb. 7) und der Sproßtrockenmasse im Vergleich zur Kontrolle (Tab. 20). Die Beimpfung mit PslA12 erhöhte die Knollentrockenmasse um 118 % und A1A4 um 81 % im Vergleich zur Kontrolle.

Tab. 20: Einfluß von rifampicinresistenten Bakterien auf Sproßlänge, Sproß- und Knollentrockenmasse von Gladiolen der Sorte 'Frührot' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=6, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

Varianten	Sproßlänge	TM Sproß	TM Knolle
Kontrolle	[23,0] ¹	[0,4] ²	[1,1] ²
A1A4	17,6	1,3	0,9
PslA12	18,6	1,2	1,3
R39	31,0	1,6	0,8
Tukey; 0,05	11,8	0,7	0,9

¹ cm/Pflanze

² g/Pflanze



Abb. 7: Einfluß von rifampicinresistenten Bakterien auf Sproß- und Wurzellänge der Gladiolensorte 'Frührot' sechs Wochen nach Inokulation auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, von links nach rechts: Kontrolle, R39, A1A4, PsIA12

Zusammenfassung der Einflüsse auf das vegetative Wachstum

1995/96 reagierten Gladiolen der Sorte 'Frührot' nicht so effektiv wie Tagetes auf inokulierte Mikroorganismen. 1995 stimulierten Einzelinokulationen sehr differenziert nur bestimmte Pflanzenteile der Gladiolen. Antibiotikaresistente Mutanten von A1A4, PsIA12 und R39 führten jedoch deutlich zu wachstumsstimulierenden Effekten. 1996 wurden von mehr inokulierten Mikroorganismen die Wurzel-, Sproß- und Brutrockenmasse von Gladiolen signifikant gesteigert.

Einfluß auf die generative Entwicklung

Im Juli 1995 wurde der Knospenbildungs- und Blühverlauf pro 30 Gladiolen über zwei Wochen erfaßt. Die überwiegende Zahl der beimpften Gladiolen bildete vom Beginn der generativen Entwicklung an mehr Knospen. Diese Wirkungen waren nicht während des gesamten Vegetationsverlaufes langanhaltend. Die Knospenanzahl pro 30 Gladiolen wurde besonders durch inokulierte Einzelmikroorganismen stimuliert. Positive Kombinationswirkungen zeichneten sich nicht ab (Tab. 21).

Tab. 21: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Knospenanzahl pro 30 Pflanzen der Gladiolensorte 'Frührot' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Variante	Knospenanzahl pro 30 Pflanzen			
	20.7.1995	24.7.1995	28.7.1995	1.8.1995
Kontrolle	6	7	8	8
Isolat 49	11	17	18	22
VAM3	9	9	12	13
PsIA12	10	11	12	13
PsIB2	11	14	10	10
PsI2	7	15	17	18
R39	11	16	18	18
A1A4	8	18	18	19
VAM3+PsIA12	9	10	12	12
VAM3+PsIB2	10	11	7	10
VAM3+PsI2	9	12	6	10
VAM3+R39	10	12	15	15
VAM3+A1A4	3	11	12	15
PsIB2+R39	1	9	11	14
PsIB2+A1A4	5	5	5	9
PsIA12+R39	7	13	15	18
PsIA12+A1A4	11	14	14	14

1995 wurde bei Gladiolen 'Frührot' durch die Einzelmikroorganismen die Knospenanzahl pro 30 Gladiolen gefördert. Die Kombinationen mit VAM3 bzw. mit Bakterien erzielten keine zusätzlichen Wirkungen im Vergleich zu den Einzelinokulationen.

Isolat 49, R39 bzw. A1A4 förderten besonders effektiv die Knospenanzahl pro 30 Gladiolen auf anlehmigem Sand im Freiland (Abb. 8). Inokulierte Pflanzen blühten auch zeitiger und bildeten mehr Blüten pro 30 Gladiolen in einer Woche aus (Anhang IV, Tab. A12).

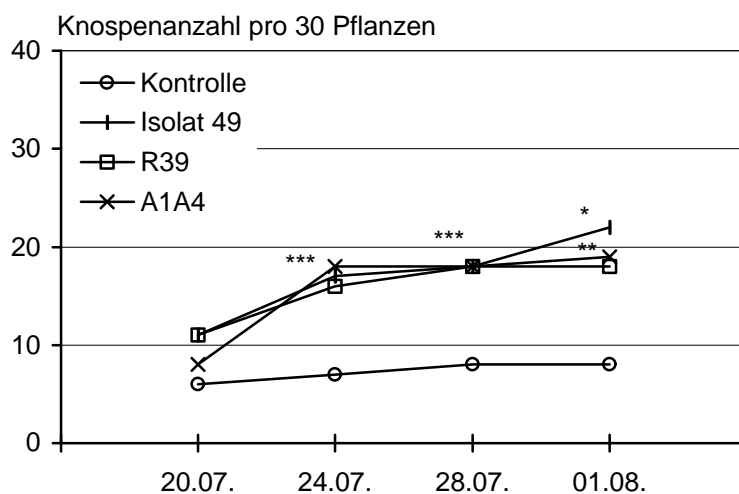


Abb. 8: Einfluß von Isolat 49, R39 und A1A4 auf die Knospenanzahl pro 30 Pflanzen der Gladiolensorte 'Frührot' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

1996 förderten die Einzelmikroorganismen überwiegend die Anzahl der farbezeigenden und der nicht farbezeigenden Blütenknospen pro Gladiolenrispe während des Blühverlaufes auf anlehmigem Sand im Freiland. Isolat 49 und die Kombination von VAM3 mit Psl2 waren besonders effektiv (Tab. 22). Die Kombinationen anderer Mikroorganismen waren gegenüber den Einzelwirkungen nicht effektiv.

Tab. 22: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Anzahl farbezeigender und nicht farbezeigender Blütenknospen und auf die Sproßtrockenmasse pro Gladiolenrispe von Gladiolen der Sorte 'Frührot' im Freiland auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=70, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$

Variante	farbezeigende Blütenknospen ¹	nicht farbezeigende Blütenknospen ¹	Sproßlänge [cm] ¹	TM [g] ¹
Kontrolle	3,8	2,1	84,7	6,0
VAM3	4,4	2,6	85,6	6,5
Isolat 49	4,8	3,2	89,7	7,6
PslA12	4,8	3,7	88,4	7,1
PslB2	4,2	3,1	86,2	6,8
Psl2	4,5	3,2	87,1	7,0
R39	4,4	3,0	84,4	6,3
A1A4	4,3	2,9	81,2	5,9
VAM3+PslA12	4,2	2,7	83,9	6,3
VAM3+PslB2	4,7	3,1	85,4	6,8
VAM3+Psl2	4,6	3,3	88,8	6,8
VAM3+R39	4,4	2,9	84,8	6,2
VAM3+A1A4	4,4	3,0	88,5	7,4
Tukey 0,05 (Nemenyi)		1,0	(Nemenyi)	1,4

¹ pro Gladiolenrispe

Zusammenfassung der Einflüsse auf den Knospenbildungs- und Blühverlauf

1995 bildeten Gladiolen der Sorte 'Frührot' durch inokulierte Einzelmikroorganismen mehr Knospen und Blüten pro 30 Gladiolen im frühen Knospenbildungs- und Blühverlauf auf anlehmigem Sand. Die geförderte Blütenbildung führte zu einer früher erreichten Mehrblütenleistung und zu einer Leistungsverlängerung. Die Wirkungen waren nicht bis zum Vegetationsende anhaltend. 1996 förderten die Einzelmikroorganismen überwiegend die Anzahl der farbezeigenden und der nicht farbezeigenden Blütenknospen pro Gladiolenrispe während des Blühverlaufes auf anlehmigem Sand im Freiland.

3.1.3 Miscanthus

Einfluß auf das vegetative Wachstum

1996 wurde die Sproßlänge im zweiten Wachstumsjahr durch die Bakterienkombinationen PsIB2 und PsIA12 mit A1A4 bzw. R39 besonders effektiv gefördert (Tab. 23). PsIA12 mit VAM3 und PsIB2 mit R39 förderten signifikant die Sproßlänge, die Triebanzahl pro Pflanze und die Sproßtrockenmasse. PsIA12 bzw. PsIB2 mit VAM3 waren effektiver als die Einzelinokulationen. Die Kombination von VAM3 mit A1A4 war nicht effektiv.

Tab. 23: Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Triebanzahl pro Pflanze und Sproßtrockenmasse bei *Miscanthus sinensis* 'Gracillimus' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=6, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Variante	Sproßlänge [cm]	Triebanzahl pro Pflanze	TM Sproß[g]
Kontrolle	67,0	7,1	4,2
Isolat 49	69,0	8,3	6,0
VAM3	64,3	8,1	4,0
PsIA12	60,8	9,5	6,3
PsIB2	60,1	8,0	4,1
PsI2	73,0	7,1	5,0
R39	72,0	8,0	5,2
A1A4	76,3	10,1	5,5
VAM3+PsIA12	91,1	14,3	8,6
VAM3+PsIB2	74,1	11,0	6,5
VAM3+PsI2	72,3	10,3	7,3
VAM3+R39	69,1	9,1	5,0
VAM3+A1A4	46,0	4,3	5,3
PsIB2+R39	81,3	12,8	8,1
PsIA12+R39	85,5	11,6	7,7
PsIA12+A1A4	84,1	12,1	4,9
PsIB2+A1A4	80,0	9,3	7,7

1997 bestätigte sich die wachstumsstimulierende Wirkung der Bakterienkombinationen. Diese stimulierten auch effektiv die Wurzeltrockenmasse von *Miscanthus* (Tab. 24). Die Sproßlänge wurde

von mehr inokulierten Mikroorganismen im Vergleich zum Vorjahr gefördert. Es zeichneten sich bessere Wirkungen der Kombinationen gegenüber den Einzelwirkungen ab. Besonders effektiv waren die Kombinationen VAM3 mit R39 bzw. PsIB2 mit R39. VAM3, Isolat 49 und die Kombination von VAM3 mit A1A4 waren nicht effektiv.

Tab. 24: Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Triebanzahl pro Pflanze, Sproß- und Wurzeltrockenmasse bei *Miscanthus sinensis* 'Gracillimus' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1997, n=6, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Variante	Sproßlänge [cm]	Triebanzahl/Pflanze	TM Sproß [g]	TM Wurzel [g]
Kontrolle	35,8	6,6	11,4	153,1
Isolat 49	43,2	9,0	14,9	248,8
VAM3	41,5	12,0	11,7	288,0
PsIA12	50,6	10,3	11,6	377,9
PsIB2	47,8	10,6	13,8	303,7
PsI2	47,2	11,4	9,9	273,5
R39	42,8	14,6	11,6	231,7
A1A4	48,3	11,6	15,1	433,7
VAM3+PsIA12	52,6	14,6	18,2	438,8
VAM3+PsIB2	53,8	12,0	16,1	480,2
VAM3+PsI2	50,3	17,0	21,4	570,0
VAM3+R39	60,3	20,3	24,9	335,7
VAM3+A1A4	51,2	10,7	13,9	276,8
PsIB2+R39	53,8	23,5	28,7	597,5
PsIA12+R39	52,8	16,0	20,6	502,8
PsIA12+A1A4	57,1	16,8	21,0	448,9
PsIB2+A1A4	47,6	11,8	20,6	580,5

Zusammenfassung der Einflüsse auf das vegetative Wachstum

1996/97 förderten bei *Miscanthus* die Bakterienkombinationen PsIB2 und PsIA12 mit A1A4 bzw. R39 besonders effektiv die Sproßlänge auf anlehmigem Sand. Kombinationen von PsIA12 bzw. PsIB2 mit VAM3 stimulierten ebenfalls das vegetative Wachstum und die Triebanzahl pro Pflanze. Zusätzliche leistungsfördernde Effekte wurden durch Kombination mehrerer inokulierter Mikroorganismen bei dieser mehrjährigen Kultur erzielt. Die Inokulationswirkungen hielten zwei Jahre an.

Zusammenfassung zu aussichtsreichen Mikroorganismen für die geprüften Zierpflanzen

Inokulierte Rhizosphärenmikroorganismen reagierten wiederholt pflanzenart- und sortenspezifisch sowie jahreszeitlich unterschiedlich bei Tagetes, Gladiolen und Miscanthus auf urbanen Standorten. Tagetes 'Hawaii' reagierte wiederholt auf inokulierte Mikroorganismen mit verbessertem vegetativen Wachstum und einer Stimulierung der generativen Entwicklung.

Ein ungleichmäßiges Wachstum auf urbanem Standort konnte wiederholt durch Inokulation verbessert werden. Bei der Tagetessorte 'Yellow Supreme' waren die Mikroorganismen meist effektiver als bei der Sorte 'Hawaii'.

Insgesamt reagierten Gladiolen im vegetativen Wachstum nicht so effektiv wie Tagetes. Durch kombinierte Inokulation von VAM3 mit Rhizosphärenbakterien bzw. von unterschiedlichen Bakterienkombinationen wurden die Wirkungen der Einzelmikroorganismen bei Tagetes und Gladiolen wiederholt nicht verbessert. Jedoch wurde der Zierwert in der frühen Entwicklungsphase bei Tagetes und Gladiolen wiederholt durch Einzelinokulationen auf anlehmigem Sand im Freiland stimuliert. Dies führte zu einer früher erreichten Mehrblütenleistung und zur Leistungsverlängerung. Die positiven Wirkungen hielten bei Tagetes teilweise bis zum Spätsommer an.

Bei Miscanthus wurden mit Einzelinokulationen der Mikroorganismen nur positive Trends, aber keine reproduzierbaren signifikanten Wachstumsstimulierungen erzielt. Die Kombination von Mikroorganismen führte bei Miscanthus zu zusätzlichen Leistungssteigerungen. Bei Tagetes und Miscanthus wurden durch die Mikroorganismen die Wurzellänge bzw. -trockenmasse stimuliert.

3.2 Einfluß von inokulierten AMP und Bakterien auf die nicht inokulierte Tagetes-Folgekultur

Um Aussagen zur Nachhaltigkeit inokulierter AMP und Bakterien auf die nicht inokulierte Tagetes-Folgekultur zu erhalten, wurden diese Untersuchungen durchgeführt. Es liegen bisher wenig Untersuchungen zu dieser Thematik vor. Die kombinierte Beimpfung von PslA12 mit R39 stimulierte auch bei im Folgejahr ausgepflanzten nicht inokulierten Tagetes signifikant die Blütenanzahl pro Pflanze (Tab. 25). 1995 konnten bei der Tagetes-Folgekultur keine wachstumsstimulierenden Wirkungen durch Einzel- und kombinierte Inokulationen von VAM3 bzw. Rhizosphärenbakterien im Freiland auf anlehmigem Sand nachgewiesen werden. Die inokulierten Mikroorganismen der Vorkulturen wirkten sich positiv auf die Mykorrhizierung der Folgekultur aus.

Tab. 25: Einfluß von AMP und Bakterien auf Mykorrhizierung (n=6), Sproßlänge, Sproß-trockenmasse sowie Knospen- und Blütenanzahl pro Pflanze (n=75) der nicht beimpften Folgekultur Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$

Varianten	Mykorrhizierung [%]	Sproßlänge [cm]	Sproß-TM [g]	Knospen pro Pflanze	Blüten pro Pflanze
Kontrolle	6,8	76,4	10,4	2,8	2,2
VAM3	73,0	59,8	12,2	2,4	2,3
A1A4	21,0	66,7	14,0	2,9	2,2
PslA12	30,0	71,4	20,0	2,5	2,5
R39	20,0	67,1	13,9	2,4	2,9
PslB2	25,0	68,4	11,4	2,1	2,6
VAM3+R39	25,1	67,1	10,8	2,1	2,1
VAM3+A1A4	18,1	57,9	16,6	2,2	2,6
PslA12+R39	20,0	57,9	15,5	2,5	3,3
Tukey; 0,05	(Nemenyi)	5,5	(Nemenyi)	0,7	1,0

3.3 Einfluß von Inokulumform und Inokulationstermin, Standort, Düngung, Sommer-trockenheit und Beregnung auf den Inokulationseffekt von AMP und Bakterien

Da Inokulationsmethoden und Umweltfaktoren wie Standort, Düngung, Sommertrockenheit sowie Beregnung den Inokulationseffekt von AMP und Bakterien entscheidend beeinflussen können, wurden diese Faktoren untersucht.

3.3.1 Inokulumform und Inokulationstermin

Es sollte geprüft werden, ob eine frühe Wurzelbesiedlung der Mikroorganismen durch Inokulumform und Inokulationstermin beeinflusst werden kann. Der frühestmögliche Inokulationstermin zur Aussaat bzw. Pflanzung bewirkte ein schnelleres Wachstum und wiederholte Verkürzungen der Anzucht- bzw. Kultivierungszeiten bei Tagetes. Die Beimpfung von PslA12 zur Aussaat steigerte signifikant die Sproßlänge von Tagetes. Durch eine zweimalige Applikation zur Aussaat und zum Pikieren wurde die Inokulationswirkung zur Aussaat nicht verbessert (Tab. 26). Die Wirkung von VAM3 bzw. PslA12 war zur Aussaat effektiv. Das wirkte sich auch positiv auf das Wachstum von Tagetes aus.

1991 bewirkte die Kombination von VAM3 mit einer PslA12-Suspension keine wachstumsstimulierenden Effekte. 1992 dagegen, bei Verwendung eines PslA12-Torfpräparates, wurden die Sproßlänge und die Sproßtrockenmasse im Vergleich zur Kontrolle auf anlehmigem Sand signifikant erhöht (Tab. 28). Bei Miscanthus war auch eine Inokulation zum Zeitpunkt der Auspflanzung in das Freiland mit unterschiedlichen Inokulumformen (VAM3- bzw. Bakterien-Torf-Präparate, Isolat 49-Blähton-Inokulum) wirksam. Bei Gladiolen dagegen war die Knolleninokulation vor dem Stecken in das Freilandbeet nicht effektiv. Die Vorinokulation von Tagetes zur Anzucht im Gewächshaus und die spätere Verpflanzung auf den Endstandort im Freiland waren wachstumsfördernder als die direkte Freilandinokulation.

Tab. 26: Einfluß von VAM3 bzw. PslA12 auf Sproßlänge und -trockenmasse in Abhängigkeit vom Inokulationstermin bei Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1992, n=30, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

Impfstamm	Variante	Sproßlänge [cm]	TM Sproß [g]
VAM3	Kontrolle	[76,2] ¹	[27,2] ²
	Aussaat	4,6	8,6
	Pikieren	1,2	-0,3
	Aussaat+Pikieren	-2,1	0,0
PslA12	Aussaat	10,2	5,2
	Pikieren	-9,0	-6,5
	Aussaat+Pikieren	-2,0	-1,1
Tukey; 0,05		7,9	10,9

¹ [cm]/Pflanze

² [g]/Pflanze

3.3.2 Standort

Ausfallraten bei der Anzucht von Tagetes

Das gärtnerische Anzuchtsubstrat war arm an autochthoner Mikroflora. Deshalb wurden die Wirkungen inokulierter Mikroorganismen unter diesen Bodenbedingungen geprüft.

1996 reduzierte die Inokulation von VAM3 und/oder PslB2, Psl2, PslA12, A1A4 die Pflanzenausfälle bei Befall durch *Trialeurodes vaporariorum* während der Anzucht im Gewächshaus (Abb. 9). Die geringen Nährstoffgehalte des Anzuchtsubstrates S1 (Anhang IV, Tab. A3) beeinflussten nicht die Wirkungen der AMP und Bakterien. Optimale Kulturführung und Pflanzenhygiene waren Voraussetzung für das Wirken der inokulierten Mikroorganismen.

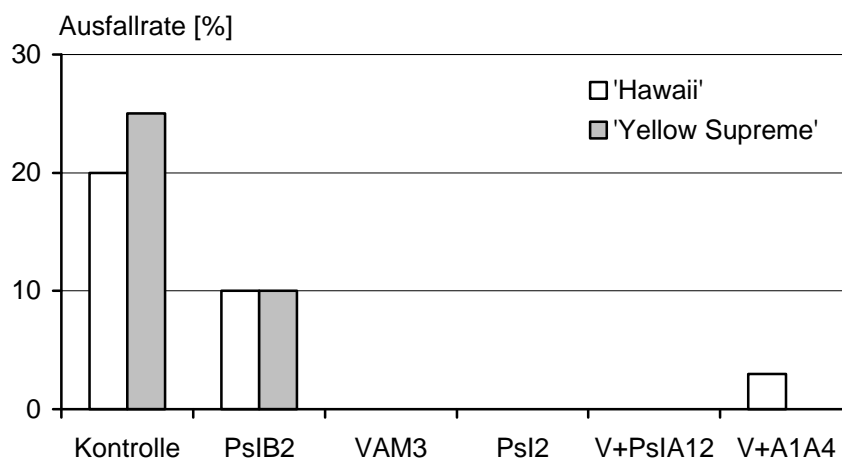


Abb. 9: Einfluß von VAM3 und Bakterien auf die Ausfallrate der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' auf S1-Anzuchtsubstrat im Gewächshaus 1996, n=100

Inokulationswirkungen auf extrem urbanem Standort (Verkehrinsel)

Auf der Verkehrinsel mit geringer Nährstoffsorptionskapazität und zahlreichen einwirkenden abiotischen und biotischen Streßfaktoren stimulierten VAM3 und Isolat 49 in unterschiedlichen Jahren signifikant das Wachstum von Tagetes. 1996 wurden die Knospenanzahl und die Wurzellänge von Tagetes durch Inokulation von AMP (VAM3, Isolat 49) auf der extremen urbanen Verkehrinsel signifikant stimuliert. Isolat 49 förderte in einem Jahr signifikant die Wurzeltrockenmasse und VAM3 im Folgejahr zusätzlich die Sproßlänge gegenüber der Kontrolle. In beiden Jahren wurde durch die Beimpfung von VAM3 und Isolat 49 keine Erhöhung der Sproßtrockenmasse erzielt (Tab. 27).

Sowohl auf den urbanen anlehmigen Sandböden der Versuchsfelder als auch auf der extremen urbanen Verkehrsinsel besiedelten VAM3 und Isolat 49 die Tageteswurzeln in zwei Jahren im Vergleich zur Kontrolle hoch signifikant. Tagetes wurden durch Mykorrhizabesiedlung in ihrem Wurzelwachstum gefördert und konnten auch auf diesem schlecht nährstoffversorgten Standort besser wachsen (Tab. 27).

Tab. 27: Einfluß von VAM3 bzw. Isolat 49 auf Mykorrhizierung, Sproßlänge, Sproß- und Wurzeltrockenmasse, Wurzellänge und Knospenanzahl pro Pflanze von Tagetes 'Hawaii' auf einer Verkehrsinsel 1995/96, n=45, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$

Jahr	Variante	Mykorrhizierung	Sproßlänge	Wurzel TM	Wurzellänge	Knospen
1995	Kontrolle	[9,2] ¹	[63,6] ²	[4,6] ³	[15,6] ²	[3,1] ⁴
	VAM3	40,3	-15,1	-1,3	9,0	-0,9
	Isolat 49	53,8	-4,7	5,6	12,9	-0,7
Tukey; 0,05		10,9	4,1	(Nemenyi)	8,5	0,7
1996	Kontrolle	[28,2] ¹	[41,6] ²	[4,7] ³	[14,3] ²	[0] ⁴
	VAM3	22,5	8,1	9,3	15,4	6
	Isolat 49	24,8	2,3	5,4	14,8	8
Tukey; 0,05		11,9	5,4	(Nemenyi)	11,2	(Nemenyi)

¹ %

² cm/Pflanze

³ g/Pflanze

⁴/Pflanze

3.3.3 Inokulationswirkungen von Mikroorganismen bei differenzierter organischer bzw. mineralischer Düngung

Da im urbanen Zierpflanzenbau die Umweltbelastungen durch Düngemittel möglichst niedrig gehalten werden müssen, wurden die Wirkungen von inokulierten Rhizosphärenmikroorganismen in Kombination mit organischen bzw. mineralischen Düngemitteln geprüft.

3.3.3.1 Einfluß der organischen Düngung

Einfluß der organischen Düngung mit Tonmudde-Torf-Gemisch bei Tagetes

1991/92 wurde bei Tagetes der Einfluß von Tonmudde-Torf-Gemisch (6 kg/m²) in Kombination mit VAM3 und PsIA12 geprüft. 1991 bewirkte bei Tagetes die organische Düngung in Kombination mit VAM3 und PsIA12 keine wachstumsstimulierenden Effekte, im Folgejahr 1992 dagegen wurden Sproßlänge und Sproßtrockenmasse signifikant erhöht (Tab. 28). Die organische Düngung stimulierte das Sproßwachstum von Tagetes. 1992 förderte VAM3 mit PsIA12 das Wachstum ohne und mit organischer Düngung. Durch die Kombination von organischer Düngung und Inokulation wurden die größten Steigerungen der Sproßlänge und Sproßtrockenmasse erreicht.

Tab. 28: Einfluß von VAM3 und PsIA12 in Kombination ohne und mit organischer Düngung auf Sproßlänge und Sproßtrockenmasse der Tagetessorte 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1991/92, n=90, Differenz zur Kontrolle, Signifikanz nach LSD-Test $\alpha=0,05$

Varianten	organische Düngung	1991 Sproßlänge	1991 TM Sproß	1992 Sproßlänge	1992 TM Sproß
Kontrolle	-	[53,0] ¹	[7,6] ²	[57,3] ¹	[8,4] ²
VAM3 + PsIA12	-	-3,6	0,1	3,6	1,0
LSD; 0,05		1,9	3,1	2,3	1,0
Kontrolle	+	[55,5] ¹	[8,7] ²	[60,7] ¹	[9,2] ²
VAM3 + PsIA12	+	-2,5	-0,3	5,3	1,5
LSD; 0,05		2,3	1,7	2,2	0,9

¹ cm/Pflanze

² g/Pflanze

Einfluß der organischen Düngung mit Humussubstrat-Lehm-Gemisch bei Miscanthus

Der Einfluß von VAM3 mit PsIA12 ohne und mit organischer Düngung (Humussubstrat-Lehm, 0,7 l/Gefäß) auf das Wachstum von Miscanthus wurde in den Wachstumsjahren 1995 - 1997 auf urbanem anlehmigem Sandboden untersucht.

Sproßlänge und Triebanzahl pro Pflanze wurden von der organischen Düngung nicht stimuliert. VAM3 mit PsIA12 bewirkten ohne und mit organischer Düngung eine Stimulierung der Sproßlänge

und der Triebanzahl pro Pflanze bei *Miscanthus* in drei Wachstumsjahren auf urbanem anlehmigem Sandboden (Abb. 10, 11). Die Mikroorganismen wirkten besser als die organische Düngung. Nur 1997 wurde mit organischer Düngung die Triebanzahl pro Pflanze signifikant im Vergleich zur Kontrolle gefördert (Abb. 11).

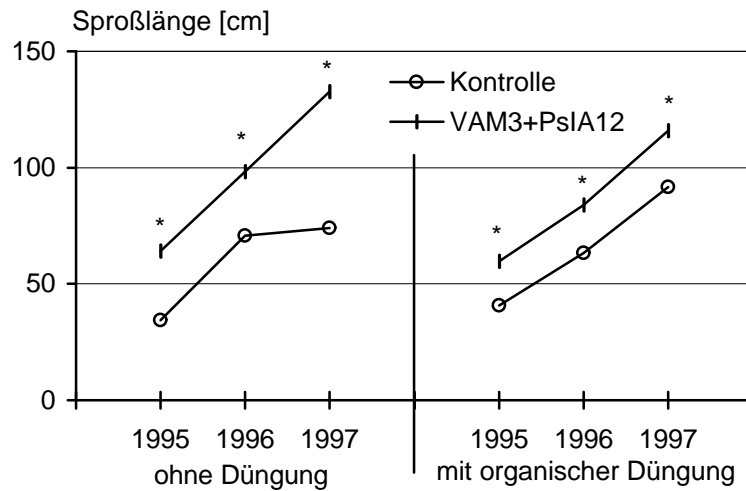


Abb. 10: Einfluß von VAM3 mit PsIA12 ohne und mit organischer Düngung auf die Sproßlänge von *Miscanthus* 'Gracillimus' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) von 1995 - 1997, n=6, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

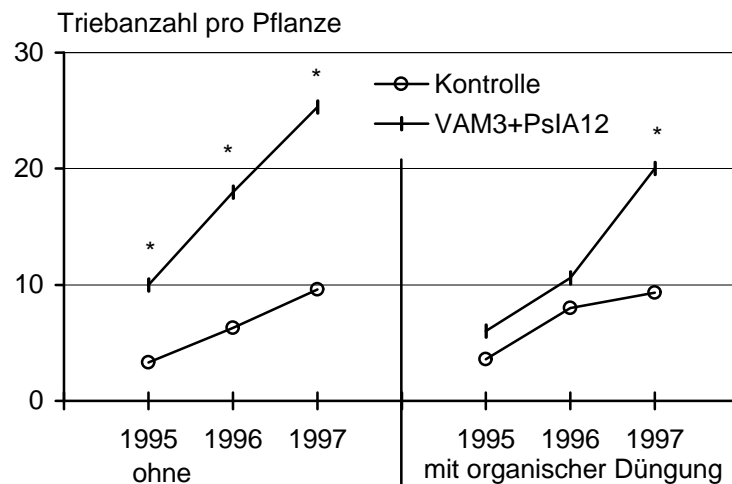


Abb. 11: Einfluß von VAM3 mit PsIA12 ohne und mit organischer Düngung auf die Triebanzahl pro Pflanze von *Miscanthus* 'Gracillimus' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995 - 1997, n=6, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Zusammenfassung zum Einfluß der organischen Düngung

Durch die Kombination von Tonmudde-Torf-Gemisch und der Inokulation von VAM3 mit PsIA12 wurden die größten Steigerungen der Sproßlänge und Sproßtrockenmasse bei *Tagetes* 'Hawaii' erreicht. VAM3 mit PsIA12 förderte besonders auf den urbanen nährstoffarmen anlehmigen Sandböden auch ohne Humussubstrat-Lehm-Gemisch bei *Miscanthus* die Sproßlänge und die Triebanzahl pro Pflanze. Die Kombination mit organischer Düngung brachte keine weiteren Vorteile.

3.3.3.2 Einfluß der mineralischen Düngung

1992 wurden Versuche zum Einfluß von Grunddüngungs- und Langzeitdüngergaben (Tab. 6, 7) auf die kombinierte Inokulation von VAM3 und PsIA12 bei Tagetes durchgeführt.

NPK-Düngung

VAM3 mit PsIA12 stimulierten signifikant die Sproßtrockenmasse ohne zusätzliche und mit NPK-Düngergabe in Höhe von 8,4 N : 5 P : 8 K (Angaben in g/m²) im Vergleich zur Kontrolle auf anlehmigem Sand (Abb. 12). Die kombinierte Beimpfung förderte unabhängig von der Düngungshöhe das Pflanzenwachstum. Eine standortgemäße Nährstoffversorgung förderte die Wirkung der Mikroorganismen.

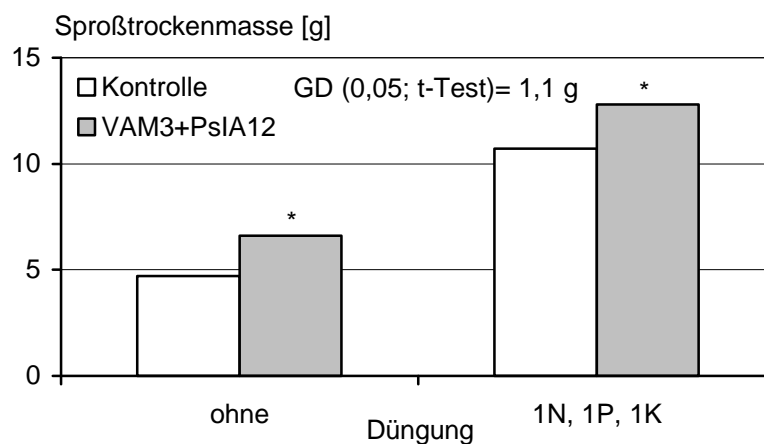


Abb. 12: Einfluß der Kombination von VAM3 mit PsIA12 ohne und mit mineralischer Düngung auf die Sproßtrockenmasse bei Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1992, n=90, Signifikanz nach LSD-Test $\alpha=0,05$

Langzeitdüngung

Die Langzeitdünger Floranid, Osmocote, Plantacote und die Grunddüngung in Kombination mit VAM3 und PsIA12 steigerten signifikant die Sproßlänge und -trockenmasse sowie die Blütenanzahl pro Pflanze im Freiland auf anlehmigem Sand im Vergleich zur Kontrolle. Triabon in Kombination mit VAM3 und PsIA12 sowie diese kombinierte Inokulation ohne Langzeitdüngung waren nicht effektiv. VAM3 und PsIA12 tolerierten die höheren mineralischen Nährstoffgehalte im Boden und förderten das Pflanzenwachstum zusätzlich.

Floranid Permanent wies ein ausgewogenes N-, P-, K- und Mg-Verhältnis auf und bewirkte auf dem stickstoffarmen Sandboden die höchste Sproßtrockenmasse-Mehrleistung (Abb. 13). Die einzelnen Dünger unterschieden sich hinsichtlich ihrer Nährstofffreisetzungsraten.

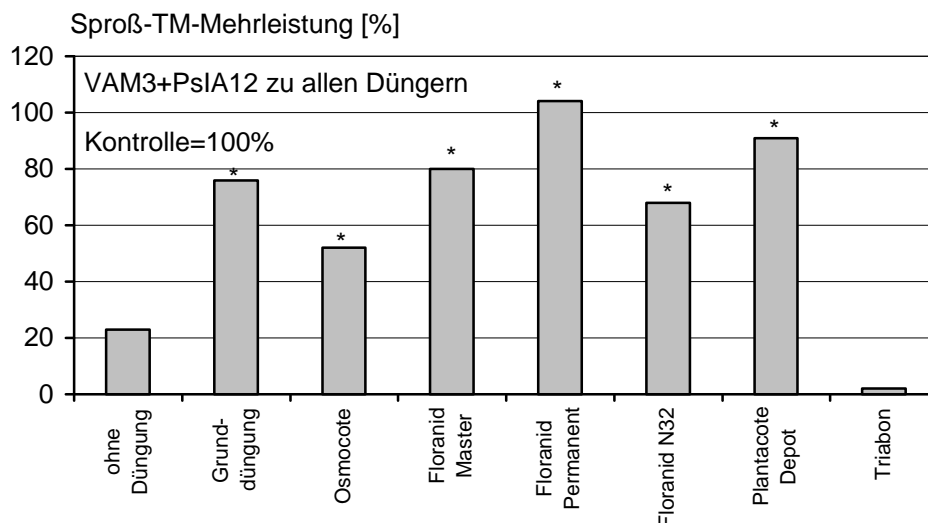


Abb. 13: Einfluß von VAM3 und PsIA12 ohne bzw. mit Langzeitdüngung auf den Sproßtrockenmasse-Mehrertrag von Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1992, n=30, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Plantacote in Kombination mit VAM3 und PsIA12 erbrachte die höchste Blütenanzahl pro Pflanze. Durch alle Düngergaben in Kombination mit VAM3 und PsIA12 wurden deutlich mehr Blüten pro Pflanze gegenüber der Kontrolle gebildet (Tab. 29).

Tab. 29: Einfluß von VAM3 und PsIA12 ohne und mit Grund- bzw. Langzeitdüngung auf die Anzahl Blüten pro Pflanze bei Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1992, n=30, Differenz zur Kontrolle, Signifikanz nach Nemenyi- bzw. Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Variante	Blüten pro Pflanze	Anzahl Pflanzen mit	
		bis zu 2 Blüten	3 und mehr Blüten
Kontrolle	[1,5]	28	2
VAM3 + PsIA12	1,7	14	16
Grunddüngung	2,0	14	16
Osmocote	1,4	15	15
Floranid Master	1,7	15	15
Floranid Permanent	0,7	20	10
Floranid N32	1,7	13	17
Plantacote Depot	3,8	10	20
Triabon	0,9	21	9

Zusammenfassung der Einflüsse von organischer und mineralischer Düngung in Kombination mit inokulierten Mikroorganismen

In beiden Düngungsversuchen wurde durch differenzierte Grund- und Langzeitdüngungsgaben in Kombination mit VAM3 und PsIA12 eine zusätzliche Förderung der Sproßtrockenmasse von Tagetes auf nährstoffarmem anlehmigem Sand erzielt.

3.3.4 Sommertrockenheit

Der Erfolg einer Inokulation von Mikroorganismen wird auch von den ökologischen Faktoren wie Niederschlag, Bodentemperatur und Trockenheit beeinflusst.

Sommertrockenperioden können sich besonders im urbanen Bereich negativ auf Zierpflanzen auswirken. Die Zunahmen der Sproßlängen der Tagetessorte 'Hawaii' wurde von den Niederschlagsmengen (Monatssummen) von Juli bis August 1996 auf anlehmigem Sand in Berlin-Köpenick beeinflusst. Die Kontrolle war von den Niederschlagsmengen stärker abhängig als die inokulierten Tagetes (Tab. 30). In Sommertrockenperioden wie August 1996 wurden durch Inokulation von VAM3 einzeln und kombiniert mit Bakterien größere Sproßlängenzunahmen als bei der Kontrolle erzielt (Tab. 30). 1996 beeinflussten die Boden- und Lufttemperaturen nicht die Zunahmen der Sproßlängen der Tagetessorte 'Hawaii'.

Tab. 30: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Sproßlängenzunahme der Tagetessorte 'Hawaii' in Abhängigkeit von den Niederschlagsmengen von Juli bis August 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100

Variante	Juli 1996	August 1996
Niederschlagsmenge (Monatssumme) [mm]		
	179	62
Monatliche Sproßlängenzunahme [cm]		
Kontrolle	24,7	3,8
Isolat49	26,1	8,9
VAM3	29,3	8,2
PsIA12	28,6	1,9
PsIB2	26,2	10,6
PsI2	26,0	11,0
R39	30,2	6,1
A1A4	25,3	14,2
VAM3+PsIA12	27,5	16,1
VAM3+PsIB2	26,9	19,2
VAM3+PsI2	28,4	10,1
VAM3+R39	23,7	14,1
VAM3+A1A4	23,4	16,6

Einfluß von Beregnung auf den Inokulationseffekt

Auf beiden nährstoffarmen urbanen Standorten besiedelten *Glomus intraradices* (Isolat 49) und *Glomus ssp.* (VAM3) schnell und intensiv die Tageteswurzeln im Vergleich zur Kontrolle. Beide Stämme erwiesen sich als wirksames Qualitätsinokulum.

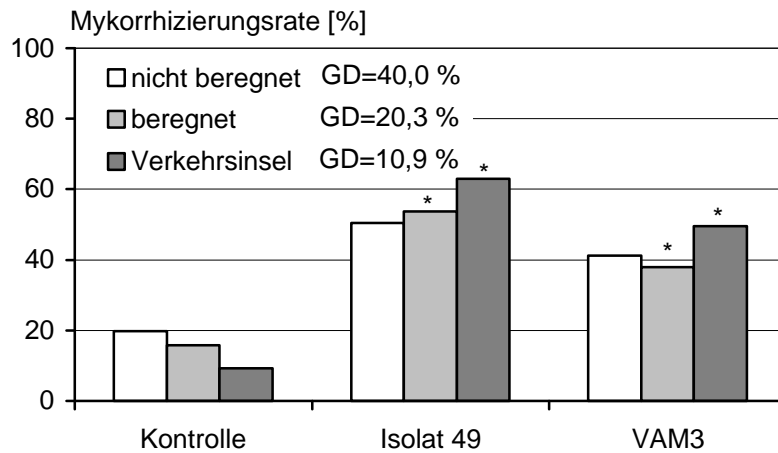


Abb. 14: Einfluß von Isolat 49 bzw. VAM3 auf die Mykorrhizierung von Tagetes 'Hawaii' auf nicht beregneten und beregneten anlehmigen Sandböden (Versuchsfeld) sowie auf der Verkehrsinself 1995, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

1995/96 bewirkte Isolat 49 die höchste Mykorrhizierung der Tageteswurzeln. 1995 waren Tageteswurzeln auf dem nicht beregneten anlehmigen Sand (Versuchsfeld) stärker von autochthonen AMP mykorrhiziert als auf dem beregneten Versuchsfeld (Abb. 14). Die inokulierten VAM3- bzw. Isolat 49-Stämme konnten sich trotz nährstoffarmer Standortbedingungen gut etablieren. Die Beregnung hatte keinen Einfluß auf die Mykorrhizierung von Tagetes. Die Mykorrhizierungsraten von Tagetes unterschieden sich in beiden Jahren (Abb. 14, 15).

1995 unterschieden sich die beiden AMP-Isolate hinsichtlich ihrer Effizienz der Förderung von Tagetes deutlicher voneinander. Es war keine Wirtsspezifität der Effekte beider Isolate aufgetreten, vielmehr erwiesen sich VAM3 und Isolat 49 unter den spezifischen Standortbedingungen als grundsätzlich effizient. Die autochthone Mykorrhizierungsrates der Kontrollpflanzen war im Vergleich zu den inokulierten VAM3 und Isolat 49 nicht effektiv (Abb. 14, 15).

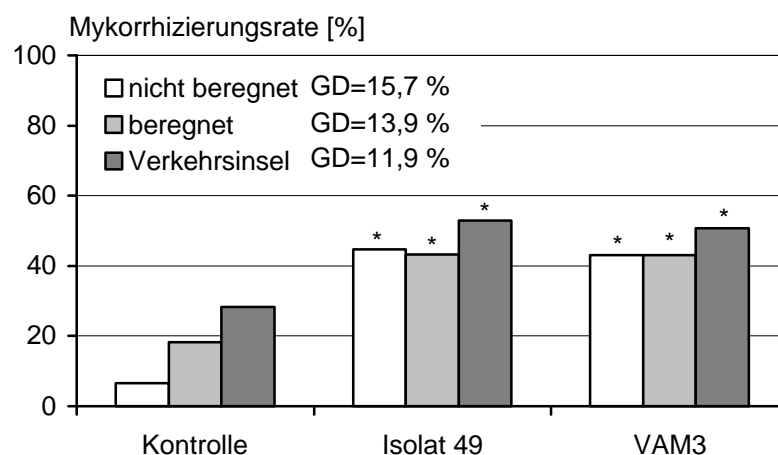


Abb. 15: Einfluß von Isolat 49 bzw. VAM3 auf die Mykorrhizierung von Tagetes 'Hawaii' auf nicht beregneten und beregneten anlehmigen Sandböden (Versuchsfeld) sowie auf der Verkehrsinself 1996, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

3.4 Mögliche Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert bei Zierpflanzen

3.4.1 Stoffwechselleistungen der Bakterien in Reinkultur

Die Stoffwechselleistungen der Mikroorganismen wie Nitrogenaseaktivität, Nitratreduktase und Phosphor-Mobilisierung sind für die gezielte Auswahl und Nutzung phytoeffektiver Mikroorganismen von Bedeutung. Deshalb wurden die Bakterien auf ihre pflanzenwirksamen physiologischen Leistungen geprüft. Die Bakterien wurden von verschiedenen landwirtschaftlichen Pflanzenarten bzw. -teilen z.B. von Raps (A1A4, PslB2, Psl2), Rotklee (R39) und Weizen (PslA12) isoliert (Tab. 31). Das Wachstum von Tagetes wurde durch diese assoziativen Bakterien im Freiland auf anlehmigem Sand reproduzierbar gefördert (Tab. 11, 12). Das zeigt ihr breites Wirtspflanzenspektrum und ihre hohe Wirksamkeit. Es zeichnete sich keine strenge Wirtsspezifität ab. Die Wirkungen waren pflanzenart- und sortenspezifisch differenziert. Alle Bakterienstämme produzierten in Reinkultur Auxine und z.T. Cytokinine (Tab. 31). Sie waren streßtolerant und wirkten antagonistisch gegen *Gaeumanomyces graminis*. *Rhizobium trifolii* (R39) unterschied sich von allen anderen Bakterien durch die Fähigkeit zur Nitrogenaseaktivität.

Tab. 31: Stoffwechselleistungen wachstumsfördernder Bakterien

Stämme	PslA12	A1A4	R39	PslB2	Psl2
Diagnostik	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Agrobacterium rhizogenes</i>	<i>Rhizobium trifolii</i>	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	
Herkunft	Weizen	Raps, Wurzel- oberfläche	Rotklee, Knöllchen	Raps, Phyllosphäre	
1. Nitrogenase- aktivität	-	-	+	-	-
2. Nitratreduktase	-	-	+	-	+
3. Phytohormon- produktion					
• Cytokinin	+	n.b.	+	n.b.	n.b.
• Auxin	+	+	+	+	+
4. Mobilisierung von Phosphor	+	+	-	-	-
5. Antagonismus (<i>G. graminis</i>)	+	+	+	+	+
6. Streßtoleranz					
• pH-Wert 4 - 8	+	+	+	+	+
• Osmotoleranz (0,8 mol)	+	+	+	+	+
7. Pektinase	+	+	+	-	-
8. Zellulase	+	+	+	-	-

-: keine Aktivität, +: positive Aktivität, n.b.: nicht bestimmt

3.4.2 Einfluß von AMP auf den Prolingehalt gestreßter Pflanzen

Prolin ist ein Indikator für abiotische Streßwirkungen in Pflanzen wie beispielsweise bei Trockenheit. Deshalb wurde 1995/96 der Einfluß von VAM3 bzw. Isolat 49 auf den Prolingehalt trockengestreßter Tagetes unter urbanen Standortbedingungen (Versuchsfeld, Verkehrsinsel) zu mehreren Terminen untersucht.

In der Tendenz wurde durch VAM3 bzw. Isolat 49 die Trockenstreßtoleranz von Tagetes erhöht. 1995/96 wiesen trockengestreßte Tagetes niedrigere Prolingehalte durch diese inokulierten Mikroorganismen auf einem urbanen anlehmigen Sand (Versuchsfläche) und einer extremen urbanen Verkehrsinsel auf (Abb. 16). Der Standort hatte keinen signifikanten Einfluß auf den Prolingehalt der Pflanzen.

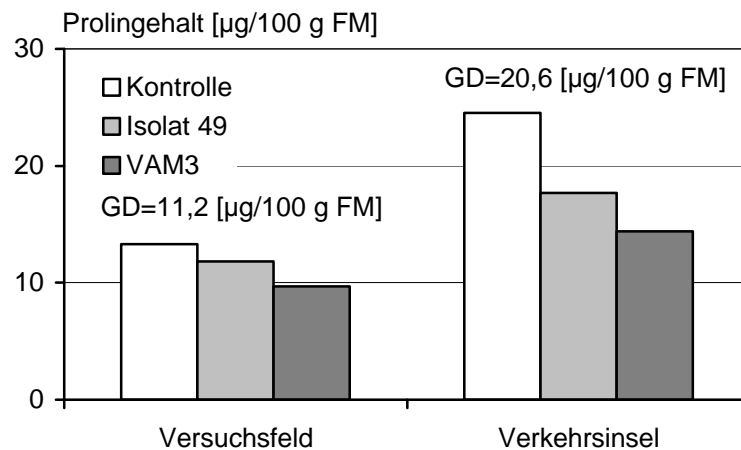


Abb. 16: Wirkung von VAM3 bzw. Isolat 49 auf den Prolingehalt pro 100 g Blattfrischmasse von Tagetes 'Hawaii' 1995 - 1996 auf anlehmigem Sandboden (Versuchsfeld) und extremer Verkehrsinsel, n=4, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

3.4.3 Besiedlungsverhalten

3.4.3.1 Mykorrhizierung

Arbuskuläre Mykorrhizapilze können die Nährstofferschließung aus dem Boden stimulieren. Aus diesem Grunde hat die Mykorrhizierung der Wurzeln eine besondere Bedeutung für das Pflanzenwachstum und ist eine Voraussetzung für wachstumsstimulierende Wirkungen (Abb. 17).

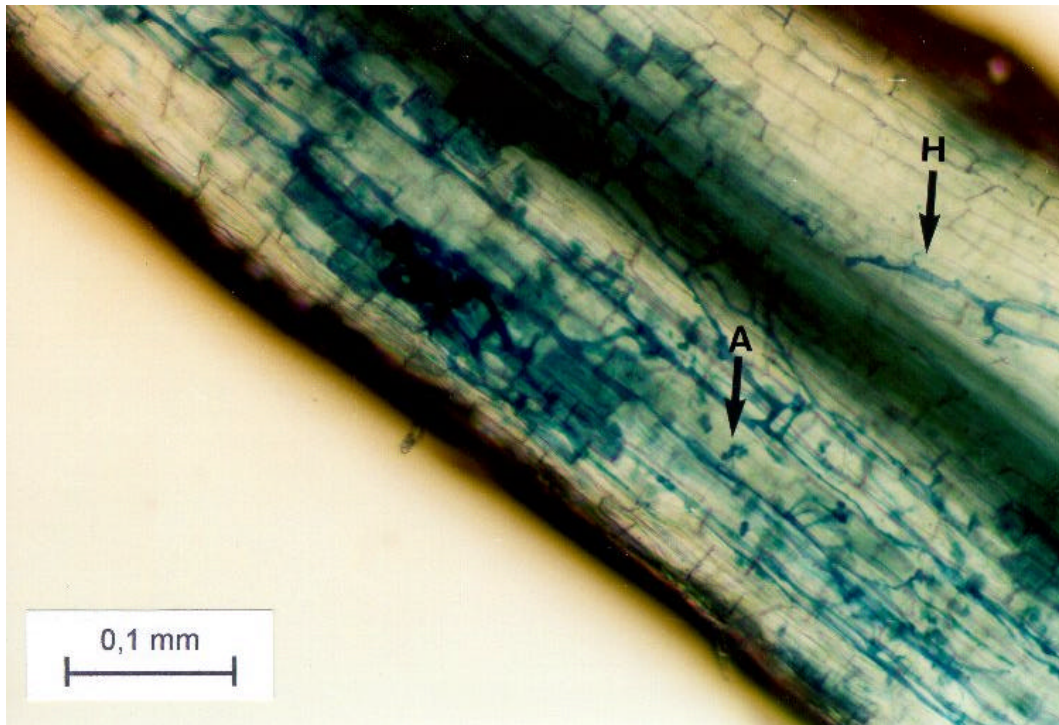


Abb. 17: Wurzellängsschnitt einer mit Trypanblau gefärbten Tageteswurzel mit typischen interzellulären AMP-Strukturen von *Glomus* ssp. (VAM3) mit Arbuskeln (A) und Hyphen (H), Vergrößerung 150×

Einfluß inokulierter Mikroorganismen auf die Mykorrhizierung unterschiedlicher Pflanzenarten

Versuchsergebnisse zeigen, daß zum Zeitpunkt der Knospenbildung auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld Berlin-Köpenick) bei Tagetes 'Hawaii' und bei Gladiolen 'Frührot' die Mykorrhizierung nicht nur durch VAM3 bzw. Isolat 49, sondern auch durch PsIA12, R39 sowie durch die Kombinationen PsIA12 mit VAM3 signifikant stimuliert wurde (Abb. 18, 19). Die Wirkungen der AMP und Bakterien waren wirtspflanzenspezifisch. Eine strenge Wirtspflanzenspezifität zeichnete sich nicht ab. VAM3 bzw. Isolat 49 variierten nicht stark in ihren Wirkungen auf Tagetes 'Hawaii' und Gladiolen 'Frührot'.

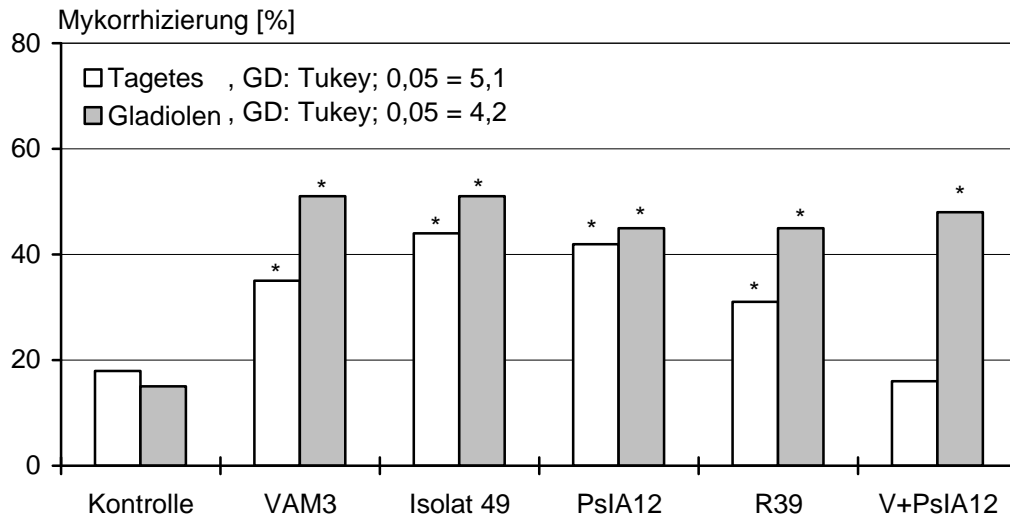


Abb. 18: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Mykorrhizierung von Tagetes 'Hawaii' und Gladiolen 'Frührot' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=6, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

Einfluß inokulierter Mikroorganismen auf die Mykorrhizierung unterschiedlicher Pflanzensorten

1996 wurde die Tagetessorte 'Yellow Supreme' meist stärker als die Sorte 'Hawaii' mykorrhiziert. Isolat 49 bewirkte bei beiden Sorten eine hohe Mykorrhizierung (Abb. 19). Trotz geringer Mykorrhizierung durch die Einzel- und kombinierte Inokulation von PsIA12 mit VAM3 bei der Tagetessorte 'Hawaii' wurden wachstumsstimulierende Effekte erzielt (Tab. 12). Entscheidend war die Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln und nicht die Stärke der AMP-Besiedlung.

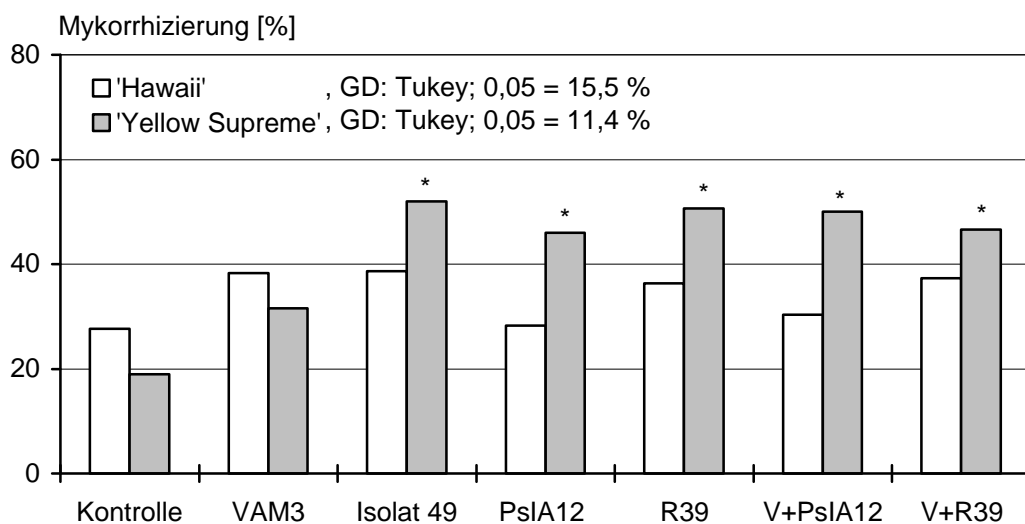


Abb. 19: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Mykorrhizierung von Tagetes der Sorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=6, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

Positive Wirkungen der Mikroorganismen auf die Mykorrhizierung von Tagetes zeichneten sich in beiden Jahren ab (Abb. 20). Die abiotischen und biotischen Einflüsse unterschiedlicher Jahre führten zu differenzierten Inokulationsleistungen, die jedoch nicht deutlich ausgeprägt waren.

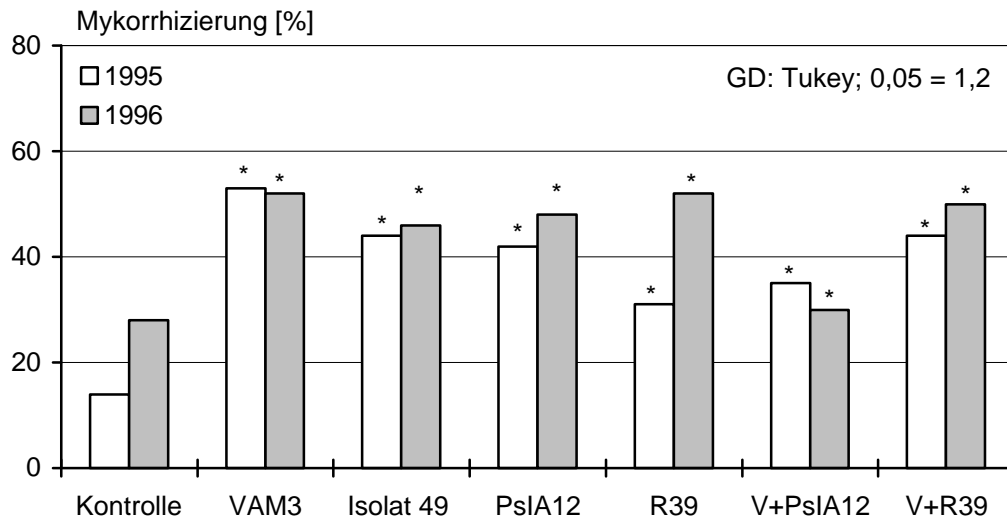


Abb. 20: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Mykorrhizierung von Tagetes 1995/96 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=6, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

Zusammenfassung zum Einfluß der Pflanzenarten, der Sorten und der Jahre auf die Mykorrhizierung

AMP und Bakterien stimulierten die Mykorrhizierung bei den Pflanzenarten, bei den Tagetessorten und in verschiedenen Jahren unterschiedlich. Die Tagetessorte 'Yellow Supreme' wurde stärker von den Kombinationen mykorrhiziert als die Sorte 'Hawaii'. Entscheidend war die Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln und nicht die Stärke der AMP-Besiedlung.

3.4.3.2 Besiedlungsverhalten von inokulierten Bakterien in der Rhizosphäre

Voraussetzung für wachstumsstimulierende Effekte durch inokulierte Bakterien sind die Besiedlung, das Überleben und die Vermehrung in der Rhizosphäre ihrer Wirtspflanzen während des Vegetationsverlaufes. 1995/96 besiedelten die rifampicinresistenten Mutanten von *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2) und *Rhizobium trifolii* (R39) während der Vegetationsperiode unterschiedliche Wurzelabschnitte der Tagetes- und Gladiolenwurzeln z.Z. des Auspflanzens und z.Z. der Blüte im Freiland.

Die Besiedlung beider Wirtspflanzen war wirtspflanzenspezifisch unterschiedlich. PslA12 hatte unter Gefäß- und Feldbedingungen beider Versuchsjahre sowohl an Tagetes- als auch an Gladiolenwurzeln eine hohe Besiedlungsrate.

1995 besiedelten die Bakterienstämme beide Wirtspflanzen im Gefäß. Die höchste Besiedlungsdichte wies R39 bei Tagetes auf (Tab. 32). Die Keimzahl aller Bakterienstämme nahm unter Freilandbedingungen rapide ab.

Tab. 32: Besiedlungsverhalten rifampicinresistenter PslA12, A1A4 und R39 in der Rhizosphäre von Tagetes und Gladiolen im Freiland auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=6

Wirtspflanze	Variante	z.Z. des Auspflanzens 7 Wochen Wachstumszeit [1000 cfu/g Wurzeln]	Freiland z.Z. der Blüte 17 Wochen Wachstumszeit [1000 cfu/g Wurzeln]
Tagetes	Kontrolle	0	0
	PslA12	65	1
	A1A4	53	2
	R39	1185	2
Gladiolen	Kontrolle	0	0
	PslA12	60	75
	A1A4	171	48
	R39	130	65

1996 wurden bei Tagetes in der Wurzeltiefe ab 7 cm und bei Gladiolen von 2 - 7 cm die höchsten Überlebensraten von PslA12, PslB2 und R39 erreicht. Ab 7 cm Wurzeltiefe sank die Besiedlungsdichte aller Bakterienstämme zu beiden Untersuchungsterminen bei Gladiolen (Tab. 33). PslA12 besiedelte mehr den Wurzelbereich ab 7 cm im Vergleich zum Wurzelbereich 2 - 7 cm. Das Überleben von PslB2 war im tieferen Wurzelbereich unverändert gut.

R39 hatte 1995 eine hohe Überlebensrate an Tageteswurzeln im Gefäß, im Folgejahr jedoch konnte R39 nicht überleben. Der Rückgang der Attraktion der Bakterien durch die Wurzeln und die damit verbundene Abnahme der Besiedlungsstärke kann durch Umweltfaktoren bewirkt worden sein. Bei Untersuchungen von ROTH (1995) wies R39 die höchste Überlebensrate bei Tagetes auf

anlehmigem Sand auf. 1996 besiedelten inokulierte Bakterien die Gladiolenwurzeln in hoher Koloniedichte im Gefäß. Unter Freilandbedingungen nahm die Besiedlungsdichte von PslA12 um das 40-fache und bei PslB2 um das 100-fache in der Wurzeltiefe ab 7 cm bei Tagetes zu (Tab. 33).

Tab. 33: Besiedlungsverhalten rifampicinresistenter PslA12, PslB2 und R39 in der Rhizosphäre von Tagetes und Gladiolen im Freiland auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=6

Kultur	Variante	z.Z. des Auspflanzens 8 Wochen Wachstumszeit [1000 cfu/g Wurzeln] Wurzeltiefe [cm]		Freiland z.Z. der Blüte 23 Wochen Wachstumszeit [1000 cfu/g Wurzeln] Wurzeltiefe [cm]	
		2 - 7	über 7	2 - 7	über 7
Tagetes	Kontrolle	0	0	0	0
	PslA12	13	7	14	267
	PslB2	2	0	200	200
Gladiole	Kontrolle	0	0	0	0
	PslA12	250	113	190	110
	PslB2	82	28	113	38
	R39	100	41	1	1

Nach einjähriger Trockenlagerung des Bodens von inokulierten Tageteskulturen besiedelten die im Boden überlebenden PslA12- und PslB2-Bakterien 1997 die Rhizosphäre der nichtinokulierten Folgekultur Tagetes (41000 cfu/g Wurzel) im Gefäß unter Gewächshausbedingungen erneut wieder (Tab. 34). Das spricht für eine hohe Konkurrenzfähigkeit gegenüber der autochthonen Mikroflora.

Tab. 34: Besiedlungsverhalten rifampicinresistenter PslA12 und PslB2 in der Rhizosphäre der nicht inokulierten Folgekultur Tagetes ein Jahr nach Erstbeimpfung im Gefäß unter Gewächshausbedingungen 1997, n=6

Wirtspflanze	Variante	Gefäß ein Jahr nach Erstinokulation [1000 cfu/g Wurzeln]
Tagetes	Kontrolle	0
	PslA12	50
	PslB2	41

Zusammenfassung zum Besiedlungsverhalten inokulierter Bakterien in der Rhizosphäre

Die rifampicinresistenten Mutanten von PslA12, PslB2, A1A4 und R39 überlebten während der Vegetationsperiode an unterschiedlichen Wurzelabschnitten bei Tagetes und Gladiolen bei Anzucht im Gefäß und nach Auspflanzen im Feld. Die Besiedlung von Tagetes und Gladiolen war wirtspflanzenspezifisch unterschiedlich. Besonders effektiv besiedelte PslA12 wiederholt Tagetes- und Gladiolenwurzeln. Nach einjähriger Trockenlagerung des Bodens besiedelten PslA12 und PslB2 erneut die Rhizosphäre der nichtinokulierten Folgekultur Tagetes.

3.4.3.3 Sporenzahl und Most Probable Number der autochthonen AMP

Sporenanzahl der autochthonen AMP

Untersuchungen zur Sporenanzahl der autochthonen AMP erfolgten zur Beurteilung des im Boden natürlich vorhandenen autochthonen AMP-Potentials. Dadurch sollten die Wirkungen inokulierter Bakterien auf die autochthone AMP im anlehmigen Sandboden besser eingeschätzt werden.

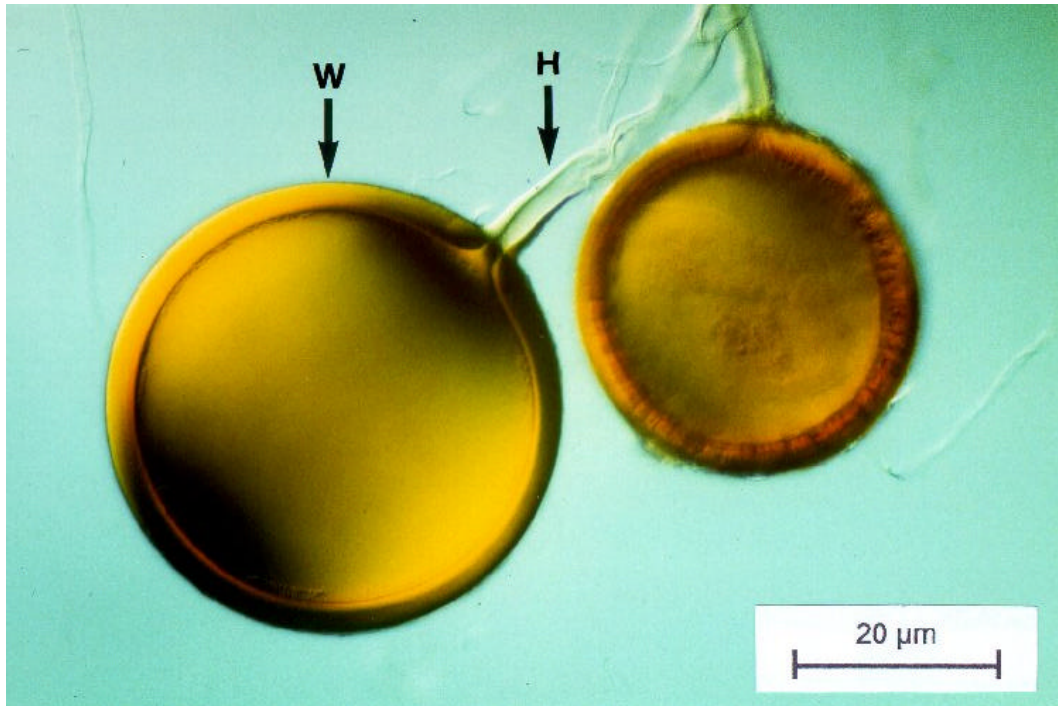


Abb. 21: *Glomus intraradices*-Chlamydosporen mit Hyphenansätzen (H) und Sporenwand (W), Interferenzaufnahme mit Filter, Vergrößerung 1250×

In Abhängigkeit von verschiedenen Jahreszeiten waren charakteristische autochthone AMP-Sporenarten wie *Glomus intraradices* (Abb. 21), *Glomus etunicatum* und *Glomus mosseae* im anlehmigen Sandboden (Versuchsfeld) in Berlin-Köpenick vorherrschend. Die autochthone AMP-Sporenanzahl/100 g Freilandboden war im Frühjahr im Vergleich zum Winter signifikant erhöht (Tab. 35). Die geringe Sporenanzahl der autochthonen Mykorrhiza auf dem anlehmigen Sandboden zu verschiedenen Jahreszeiten lag zwischen 7 und 65 Sporen/100 g Boden. Die Häufigkeit und Intensität des Auftretens der autochthonen AMP-Sporenarten war von der Jahreszeit abhängig.

Tab. 35: Autochthone AMP-Sporenanzahl pro 100 g Freilandboden (anlehmiger Sand, Versuchsfeld) zu verschiedenen Jahreszeiten 1995/96, n=6, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Jahreszeit	Sporenanzahl/100 g Freilandboden
Frühjahr	64,8
Sommer	17,2
Herbst	17,8
Winter	7,3

MPN der autochthonen AMP

Die Anzahl infektiöser autochthoner AMP-Strukturen wie Hyphen, infizierte Wurzelstücke im anlehmigen Sandboden (Berlin-Köpenick) im Frühjahr bzw. Herbst unterschiedlicher Jahre war hoch (Tab. 36). Im Herbst nahm die MPN-Anzahl der autochthonen AMP deutlich zu. Somit war ein hohes Besiedlungspotential von autochthonen AMP im Boden vorhanden, das durch inokulierte Bakterien gefördert werden konnte (Abb. 18 - 20).

Tab. 36: MPN der autochthonen AMP des anlehmigen Sandbodens im Frühjahr und Herbst 1995/96, n=6

Jahr	Zeitpunkt	MPN-Anzahl/ 100 g trockener Boden
1995	Frühjahr	2 500 (1170 - 5340) ¹
1996	Herbst	30 307 (14184 - 64750) ¹

¹ höchste und niedrigste MPN-Anzahl bei einer Wahrscheinlichkeit von 95 %

3.4.3.4 Bakterien und Pilze aus der Wildpopulation des Bodens und der Rhizosphäre

Die autochthone Mikroflora in der Rhizosphäre kann den Inokulationserfolg von Rhizosphärenmikroorganismen entscheidend beeinflussen. Deshalb wurden vor Versuchsbeginn ausgewählte Bakterien- und Pilzarten der mikrobiellen Wildpopulation der Rhizosphäre aller Versuchsstandorte und -pflanzen isoliert und identifiziert.

Die Böden und Wurzeln von Tagetes bzw. Gladiolen wurden pflanzenartspezifisch von den autochthonen Bakterien- und Pilzarten der Rhizosphäre besiedelt. Der Gladiolenboden enthielt wenige autochthone Bakterien bzw. Pilze pro Gramm Freilandboden. Demgegenüber wurde die 14-fache Bakterien- bzw. die 3-fache Pilzanzahl an Gladiolenwurzeln festgestellt (Tab. 37).

Tab. 37: Pilze und Bakterien der mikrobiellen Wildpopulation im anlehmigen Sandboden (Versuchsfeld) und an den Wurzeln von Tagetes und Gladiolen, n=6

Kultur	Varianten	Pilze [1000 cfu/g Boden bzw. Wurzel]	Bakterien [10 ⁶ cfu/g Boden bzw. Wurzel]
Gladiolen	Boden	52	4
	Wurzel	176	55
Tagetes	Boden	114	14
	Wurzel	121	35

Im Freilandboden und an den Wurzeln von Tagetes wurden dagegen weniger Bakterien bzw. Pilze pro Gramm Boden bzw. Wurzel ermittelt. Jedoch wurde eine hohe Lebendkeimzahl an farblosen *Streptomyces ssp.* an Tageteswurzeln bestimmt. *Pseudomonas ssp.* besiedelte sowohl die Wurzeln von Tagetes als auch von Gladiolen (Abb. 22). Beziehungen zu pflanzenspezifischen Inokulationseffekten zeichneten sich nicht ab. Inokulierte Mikroorganismen erwiesen sich gegenüber der autochthonen Pilz- und Bakterienflora als konkurrenzfähig.

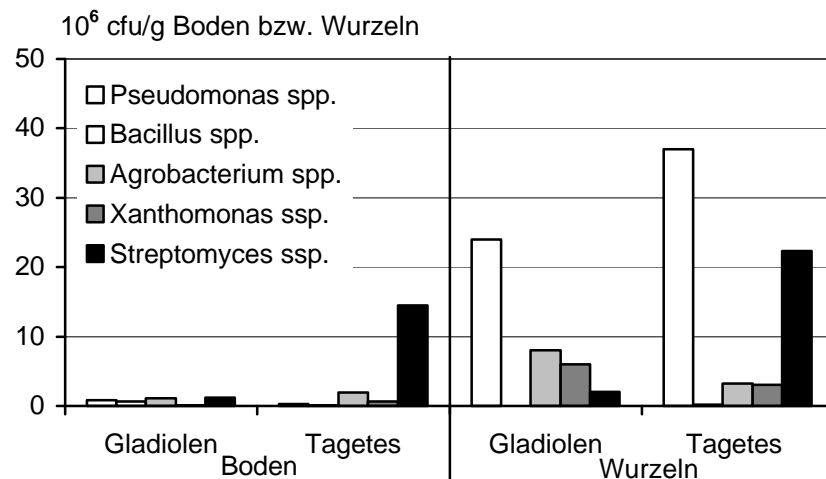


Abb. 22: Pilze und Bakterien der mikrobiellen Wildpopulation der Rhizosphäre im anlehmigen Sandboden (Versuchsfeld) und an den Wurzeln von Tagetes und Gladiolen 1995, n=6

4 Diskussion und Schlußfolgerungen

4.1 Diskussion

Ziel der Untersuchungen war es, das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen auf urbanen Standorten, bei geringer Umweltbelastung mit Düngemitteln, durch Nutzung natürlicher Ressourcen wie z.B. phytoeffektiver Rhizosphärenmikroorganismen zu verbessern.

In Gefäß- und Freilandversuchen wurden auf unterschiedlichen urbanen Standorten mit anlehmigem Sand bei Tagetes, Gladiolen und Miscanthus inokulierte arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) und assoziative Rhizosphärenbakterien (*Pseudomonas fluorescens* PslA12, *Agrobacterium rhizogenes* A1A4, *Rhizobium trifolii* R39, *Stenotrophomas maltophilia* PslB2 bzw. Psl2), die das Wachstum landwirtschaftlicher Kulturpflanzen auf Ackerstandorten förderten, getestet.

Mit dem Ziel, mikrobielle Inokulationseffekte zu verbessern, wurden Kombinationswirkungen von unterschiedlichen Mikroorganismen, pflanzenart- und sortenspezifische Unterschiede sowie organische oder mineralische Düngung und Mikroorganismen geprüft. Zur Aufklärung von Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert wurden die Stoffwechselleistungen der Bakterien in Reinkultur charakterisiert und das Besiedlungsverhalten der Mikroorganismen in der Rhizosphäre während der Vegetationsperiode und an einer nicht inokulierten Folgekultur ermittelt.

4.1.1 Inokulumform und Inokulationstermin

Es wurde geprüft, ob eine frühe Wurzelbesiedlung inokulierter Rhizosphärenmikroorganismen durch Inokulumform und Inokulationstermin beeinflusst werden kann. Bei Bakterien waren Präparate mit Torf als Träger sowohl auf urbanen als auch auf Ackerstandorten (HÖFLICH et al., 1997) geeignet. Bakteriensuspensionen als Inokulum zeichneten sich als nicht effektiv ab. Vermutlich war die Überlebensfähigkeit der Bakterien in der Bakteriensuspension zu gering, um wachstumsstimulierend zu wirken. Für arbuskuläre Mykorrhizapilze erwiesen sich Torf-Bentonit-Gemische (GLANTE, 1988) und der anorganische Inokulumträger Blähton (BACKHAUS, 1984; DEHNE und BACKHAUS, 1986; ALTEN et al., 1991, 1993) als wirksam. Torf förderte als Trägersubstanz eine schnellere Ansiedlung der inokulierten arbuskulären Mykorrhizapilze im Freiland. Torf und Tonminerale begünstigten das Überleben von Impfororganismen im Präparat und im Boden (HÖFLICH und RUPPEL, 1990). Auch ABBOTT und ROBSON (1985) ermittelten für *Glomus* ssp. eine hohe Infektionsintensität und eine fünfjährige Überdauerung in trockenen Böden. Es traten keine stammspezifischen Unterschiede in der Mykorrhizierung zwischen VAM3 (Torfpräparat) und Isolat 49 (Blähton) auf. Beide schnell-infizierenden arbuskulären Mykorrhizapilz-Stämme erwiesen sich als Qualitätsinokulum.

Da eine frühe Wurzelbesiedlung Voraussetzung für effektive Wirkungen der Mikroorganismen ist, haben sich bei Tagetes frühestmögliche Inokulationen zur Aussaat bewährt. Inokulationen zum Pflanztermin waren nicht effektiv (Tab. 26). Die Vorinokulation von Tagetes zur Anzucht im Gewächshaus und die spätere Verpflanzung auf den Endstandort im Freiland war wachstums-

fördernder als die direkte Freilandinokulation. Durch die Inokulation des keimenden Saatgutes bzw. der Pflanze war eine frühzeitige Besiedlung der Wurzeln mit den inokulierten Rhizosphärenmikroorganismen möglich. Die Vorteile durch eine schnelle Etablierung der arbuskulären Mykorrhizapilze und assoziativen Rhizosphärenbakterien an den jungen Wurzeln waren eine Voraussetzung, um langanhaltend das Wachstum von *Tagetes* und *Miscanthus* im Freiland zu fördern. An die Gladiolenknollen inokulierte Mikroorganismen mußten bei direkter Freilandbeimpfung mit einer leistungsstarken autochthonen Mikroflora im anlehmigen Sandboden konkurrieren. Das war möglicherweise eine Ursache für die geringen vegetativen Wachstumseffekte bei Gladiolen.

Die bei der Anzucht von *Tagetes* verwendeten gärtnerischen Substrate waren arm an natürlicher Bodenmikroflora. Weiterhin waren die Bodenbedingungen (Nährstoffe, pH-Wert, Temperatur) für positive Wirkungen inokulierter arbuskulärer Mykorrhizapilze und Bakterien im Gewächshaus günstiger als im Feld. Bei *Miscanthus* war auch eine Inokulation zum Zeitpunkt der Aussaat in das Freiland mit unterschiedlichen Inokulumformen (Torfpräparate, Blähton) wirksam. Auch DOMEY (1987) und TROUVELOT et al. (1995) bestätigen den frühestmöglichen Inokulationszeitpunkt zur Aussaat unter Gewächshausbedingungen als eine effektive Inokulationsmethode.

Die Ergebnisse zeigen, daß der Aufwand für die Inokulation von pflanzenwachstumsfördernden Mikroorganismen bei den geprüften Zierpflanzen unter praxisrelevanten Anbaumethoden relativ gering sein kann. Die mikrobiellen Wachstumsstimulierungen bei *Tagetes* in den Anzuchtgefäßen mit mikroorganismenarmen Erden ermöglichten wiederholt Verkürzungen der Anzucht- bzw. Kultivierungszeiten.

4.1.2 Pflanzenartspezifik mikrobieller Inokulationseffekte

In zweijährigen Inokulationsversuchen auf urbanen Standorten mit anlehmigen Sandböden bewirkten sowohl arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) als auch assoziative Rhizosphärenbakterien unterschiedlicher Gattungen wie *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2, Psl2) unterschiedliche Wachstumsstimulierungen bei *Tagetes-Erecta-Hybriden*, insbesondere bei der Sorte 'Hawaii'. Ein ungleichmäßiges Wachstum von *Tagetes* auf urbanem Standort (Abb. 1) konnte wiederholt durch Inokulation verbessert werden. Bei Gladiolen und *Miscanthus* wurden mit Einzelinokulationen dieser Mikroorganismen nur positive Trends, aber keine wiederholbaren signifikanten Wachstumsstimulierungen erzielt (Tab. 38).

Bei *Tagetes* und Gladiolen wurden durch kombinierte Inokulation von arbuskulären Mykorrhizapilzen (VAM3) mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2, Psl2) bzw. von unterschiedlichen Bakterienkombinationen die Wirkungen der Einzelmikroorganismen wiederholt nicht verbessert (Tab. 38). Bei Gladiolen sind wahrscheinlich das spezifische Wurzelwachstum und schwankende ökologische Faktoren mögliche Ursachen für geringe Inokulationseffekte im Freiland. Bei *Miscanthus* zeigten sich positive Wirkungen durch Kombination arbuskulärer Mykorrhizapilze (VAM3) mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) bzw. mit *Rhizobium trifolii* (R39) ab. Aber auch die Bakterienkombinationen

Rhizobium trifolii (R39) mit *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2), R39 mit PslA12, *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4) mit PslA12 und A1A4 mit PslB2 waren bei *Miscanthus* wiederholt effektiver als die Einzelmikroorganismen. Die Wirkung hielt bei *Miscanthus* in den drei geprüften Wachstumsjahren an. Bei *Tagetes* und *Miscanthus* wurden durch die Mikroorganismen insbesondere die Wurzellänge bzw. -trockenmasse stimuliert. *Tagetes* bildeten verzweigte Wurzelsysteme mit hohem Feinwurzelanteil. Für die inokulierten arbuskulären Mykorrhizapilze und Bakterien boten sich so zahlreiche potentielle Besiedlungsstellen. Die Förderung des Wurzelwachstums ist offensichtlich eine wichtige Voraussetzung für die ebenfalls stimulierten Sproßlängen und -trockenmassen. *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) förderte bei Winterweizen und Erbsen in Gefäß- und Feldversuchen Wurzellänge, Nebenwurzelbildung und Wurzeltrockenmasse (HÖFLICH, 1992). Die Wurzelentwicklung von Raps, Ölrettich und Senf wurde durch *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Rhizobium trifolii* (R39) *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2) und *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4) auf anlehmigem Sand und sandigem Lehm wiederholt gefördert (HÖFLICH und KÜHN, 1996). *Pseudomonas* ssp. und *Agrobacterium rhizogenes* förderten bei einkeimblättrigen Pflanzen signifikant die Ausbildung von Wurzelhaaren (JAGNOW et al., 1991; DEFREITAS und GERMIDA, 1992).

Die Knospenbildung ist ein wichtiges Kriterium für den Zierwert. Bei *Tagetes* 'Hawaii' hatten Rhizosphärenmikroorganismen wie *Glomus* ssp. (VAM3), *Glomus intraradices* (Isolat 49) und *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) wiederholt positive Wirkungen auf die Knospenanzahl- und Blütenanzahl pro Pflanze (Tab. 14, 15). Die positiven Wirkungen hielten teilweise bis zum Spätsommer an. Bei Gladiolen (Tab. 21, 22) wurde auch die Knospen- und Blütenanzahl pro Pflanze bereits im Jungpflanzenstadium gefördert. Hierzu sind noch weitere Untersuchungen notwendig. Untersuchungen von ROTH (1995) bestätigen die Förderung der Blütenanzahl durch *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4) *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2 bzw. Psl2) bei *Tagetes-Erecta-Hybriden* 'Hawaii' unter vergleichbaren Kulturbedingungen in zwei Jahren auf anlehmigem Sand in Berlin-Köpenick. Eine erhöhte Blütenbildung wurde schon für *Heliotropium arborescens*, *Chrysanthemum frutescens* auf Sand und Rindensubstraten im Gewächshaus (BACKHAUS, 1984), bei Rosen im Freiland (GIANINAZZI et al., 1990a, b) und bei *Petunia-Hybriden* (DAFT und OKUSANYA, 1973) beschrieben. ABOUL-NASR (1996) stellte bei *Tagetes erecta* durch *Glomus etunicatum* eine schnellere Blütenbildung und eine erhöhte Blütenanzahl im Gewächshaus fest.

Die Ergebnisse zeigen, daß bei Zierpflanzen im urbanen Bereich die Rhizosphärenmikroorganismen pflanzenartspezifisch differenziert bei *Tagetes*, Gladiolen und *Miscanthus* unter urbanen Standorten wirkten. Sowohl stimulierende (BAREA und AZCON-AGUILAR, 1982) als auch antagonistische Wirkungen (BETHLENFALVAY et al., 1995) sind zwischen Wirtspflanzen und inokulierten wachstumsfördernden Mikroorganismen möglich.

Tab. 38: Übersichtstabelle zum Einfluß arbuskulärer Mykorrhizapilze und assoziativer Rhizosphärenbakterien auf das vegetative Wachstum von Tagetes der Sorte 'Hawaii', Gladiolen der Sorte 'Frührot' und Miscanthus der Sorte 'Gracillimus' in zwei Jahren auf anlehmigem Sand, Signifikanzen zur Kontrolle

Impfstämme	Tagetes 'Hawaii'						Gladiolen										Miscanthus														
	1995				1996			1995					1996					1996			1997										
	SL	S	W	WL	SL	S	W	SL	S	W	K	B	SL	S	W	K	B	SL	S	TA	SL	S	W	TA							
	TM	TM			TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM	TM		TM	TM	TM	TM							
Isolat49	nicht bestimmt				+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+							
VAM3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+							
PsIA12	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+							
PsIB2	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+							
PsI2	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+							
R39	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
A1A4	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+							
VAM3+PsIA12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
VAM3+PsIB2	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+							
VAM3+PsI2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
VAM3+R39	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
VAM3+A1A4	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+							
PsIB2+R39	-	+	+	+	nicht bestimmt			-	-	+	-	-	nicht bestimmt					+	+	+	+	+	+	+	+						
PsIA12+R39	+	+	+	+				+	+	-	+	+						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
PsIA12+A1A4	-	+	+	+				-	-	+	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
PsIB2+A1A4	-	+	+	+				-	-	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+

STM: Sproßtrockenmasse SL: Sproßlänge - : signifikant negativ zur Kontrolle
 WTM: Wurzeltrockenmasse WL: Wurzellänge - : negativ zur Kontrolle
 BTM: Brutttrockenmasse TA: Triebanzahl pro Pflanze + : positiv zur Kontrolle
 KTM: Knollentrockenmasse + : signifikant positiv zur Kontrolle

Innerhalb einer Pflanzenart können sortenspezifische Unterschiede auftreten. Bei der Tagetessorte 'Yellow Supreme' waren die Rhizosphärenmikroorganismen meist effektiver als bei der Sorte 'Hawaii'. Auch bei Erbsen wurden eindeutig sortenspezifische Wirkungsdifferenzen nachgewiesen (HÖFLICH et al., 1993). Auch Maissorten reagierten unterschiedlich auf eine Inokulation von *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2) (HÖFLICH et al., 1997).

Phytoeffektive Mikroorganismen können bei einem breiten Wirtspflanzenkreis (Tagetes, Gladiolen, Miscanthus) effektiv sein. So wurde mit *Glomus ssp.* (VAM3) und/oder *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4) und *Rhizobium trifolii* (R39) das Wachstum von Mais, Getreide, Erbsen, Luzerne und Raps auch auf Ackerstandorten stimuliert (HÖFLICH und KÜHN, 1996). HÖFLICH et al. (1996) stellten ein erhöhtes Sproßwachstum um 10 - 20 % bei Erbsen, Luzerne und Mais durch Inokulation von *Rhizobium trifolii* (R39) bzw. *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) fest.

4.1.3 Standortspezifische Wirkungen

Durch inokulierte Mikroorganismen zur Aussaat in gärtnerischen Anzuchtsubstraten konnten bei Tagetes auch Pflanzenausfälle durch *Trialeurodes vaporariorum* im Gewächshaus reduziert werden. Die hohen Ausfallraten bei der Kontrolle sind vermutlich auf eine begrenzte Versorgung mit mineralischen Nährstoffen zurückzuführen. Da von Pflanzen auf Ackerstandorten isolierte Bakterien auch auf urbanen Standorten wirksam waren, zeichnet sich keine Notwendigkeit ab, standortspezifische Isolate zu gewinnen. Die Standortspezifität war bei den arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus ssp.* VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) gering ausgeprägt. Es traten aber z.T. spezifische Wirkungen auf (Abb. 15). Die Ergebnisse des Abschnittes 4.1. zeigen, daß auf relativ nährstoffarmem anlehmigem Sand (Berlin-Köpenick) das Wachstum von Tagetes und Miscanthus durch geeignete Rhizosphärenmikroorganismen stimuliert werden kann (Tab. 38). Eine Nutzung von Rhizosphärenmikroorganismen im urbanen Bereich setzt jedoch auch ihre Effektivität unter extremen abiotischen- und biotischen Umweltbelastungen wie Trockenheit, Abgase und Krankheitsbefall voraus. Die Versuche mit Tagetes auf einer extrem belasteten Verkehrsinsel zeigen, daß arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus ssp.* VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) auch auf diesem Standort wirksam sein können. Die Anpassung der Pflanzen an die nährstoffarmen Bodenbedingungen und die Knospenanzahl von Tagetes wurde in einem Jahr durch diese Mikroorganismen gefördert. Der Knospenbildungs- und Blühverlauf ist besonders im urbanen Bereich ein wichtiges Merkmal. Inokulierte arbuskuläre Mykorrhizapilze konnten mit den standortspezifischen autochthonen Mykorrhizapilzen im urbanen anlehmigen Sandboden konkurrieren. Auch schon WINTER (1951) ermittelte bei Getreide immer dort eine intensive Mykorrhizierung, wo besonders ungünstige Bodenbedingungen bzw. -verdichtungen vorlagen. Das steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen von HAYMAN (1983) sowie POWELL und BAGYARAJ (1984).

4.1.4 Einfluß von organischer und mineralischer Düngung auf die Inokulationswirkungen von Rhizosphärenmikroorganismen

Im urbanen Zierpflanzenbau müssen die Umweltbelastungen mit Düngemitteln aus ökologischen Gründen möglichst niedrig gehalten werden. Daraus ergibt sich die Frage, ob durch Inokulation von Rhizosphärenmikroorganismen die Wirkungen organischer bzw. mineralischer Düngemittel verbessert werden können.

Organische Düngung

Durch organische Düngung in Form von Tonmudde-Torf-Gemisch (6 kg/m²) wurde bei Tagetes das Sproßwachstum stimuliert. Der Düngungseffekt konnte auch durch Inokulation von arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp. VAM3) mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) erreicht werden. Den besten wachstumsstimulierenden Effekt brachte die Kombination von organischer Düngung mit den Mikroorganismen (Tab. 28). Auch BECK (1984) und VEJSADOVA (1991) erzielten durch Zugabe von organischen Materialien wie Torf und Kompost zusätzliche wachstumsstimulierende Effekte in Kombination mit Rhizosphärenmikroorganismen auf nährstoffarmen Standorten. Eine mögliche Hemmung der arbuskulären Mykorrhizapilze durch im Torf häufig vorkommende *Streptomyces* ssp. (FRIED, 1988) konnten nicht bestätigt werden. BACKHAUS (1984) stellte eine verzögerte AMP-Verpilzung bei *Heliotropium arborescens*, *Fuchsia x hybrida*, *Chrysanthemum frutescens*, *Kalanchoe x hybrida* durch Torf- und Rindengemische im Vergleich zu Sandboden im Gewächshaus fest. Die im Torf enthaltenen wasserlöslichen Substanzen führte der Autor auf die Hemmung der arbuskulären Mykorrhizapilze zurück. Auch diese Ergebnisse widersprachen den eigenen Resultaten.

Bei Miscanthus, einer besonders durablen Pflanze, bewirkte ein Humussubstrat-Lehm-Gemisch (0,7 l/Gefäß) keine eindeutige Stimulierung der Sproßlänge und der Triebanzahl pro Pflanze. Inokulationen von VAM3 mit PslA12 waren sowohl ohne als auch mit organischer Düngung in drei Jahren auf urbanem anlehmigen Sandboden wirksam. Die Düngung brachte keine positiven Kombinationseffekte (Abb. 10, 11). Eine Erklärung dafür sind die geringen Nährstoffansprüche von Miscanthus.

Mineralische Düngung

Bei Tagetes wurde die Sproßtrockenmasse sowohl durch mineralische NPK-Düngungsgabe (Tab. 6) als auch durch Inokulation von arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp. VAM3) mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) auf anlehmigem Sand gefördert. Dabei zeichneten sich positive Kombinationseffekte ab (Abb. 12). Die kombinierte Impfung verbesserte die Erschließung des vorhandenen Nährstoffvorrates im Boden, obwohl dadurch nicht gleichwertige Wirkungen wie bei der Mineraldüngung erreicht wurden. Bei niedrigerer Phosphor-Düngergabe und geringen Phosphor-Gehalten des Bodens (4,3 mg P₂O₅ pro 100 g Boden) bewirkte die kombinierte Inokulation eine Förderung des Wachstums von Tagetes. HÖFLICH et al. (1993, 1997) erreichten durch Inokulation von *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2) eine erhöhte NPK-Nährstoffaufnahme aus dem Boden bei Mais im Jungpflanzenstadium auf lehmigem Sand. Die Reaktion der Pflanzen auf die Düngungsgabe konnte durch Inokulation mit arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp.) im Freiland verbessert

werden (STRIBLEY et al., 1980; GIANINAZZI-PEARSON und GIANINAZZI, 1986; LAND, 1990). DEHNE (1987) stellte bei standortgerechter Düngung einen verbesserten Assimilattransport in die Wurzeln und gute Lebensbedingungen für arbuskuläre Mykorrhizapilze fest.

Die Wirkung unterschiedlicher mineralischer NPK-Langzeitdünger wie Floranid, Osmocote und Plantacote und einer NPK-Grunddüngung auf die Sproßtrockenmasse und die Blütenanzahl pro Pflanze bei Tagetes wurde durch VAM3 mit PsIA12 im Feldversuch auf anlehmigem Sand verbessert (Abb. 13). VAM3 und PsIA12 tolerierten vermutlich die höheren mineralischen Nährstoffgehalte im Boden. Die Ergebnisse zeigen, daß mineralische Düngungsgaben die Wirkungen inokulierter arbuskulärer Mykorrhizapilze nicht nachteilig beeinflussten wie MOSSE (1973, 1981), POWELL (1982a) sowie HARLEY und SMITH (1983) in ihren Untersuchungen feststellten.

4.1.5 Effektivität von Rhizosphärenmikroorganismen in Sommertrockenperioden

Sommertrockenperioden können sich besonders im urbanen Bereich negativ auf Zierpflanzen auswirken. Die Tagetessorte 'Hawaii' reagierte besonders effektiv auf Inokulationen mit Rhizosphärenmikroorganismen. Es konnte nachgewiesen werden, daß der positive Inokulationseffekt von arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp. VAM3) und/oder Kombinationen von *Pseudomonas fluorescens* (PsIA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PsIB2, PsI2) auf die Sproßlängenzunahme in Trockenperioden deutlicher als in Feuchtperioden war (Tab. 30). Diese Ergebnisse sprechen für eine bessere Anpassung inokulierter Tagetes an ungünstige Umweltbedingungen wie Sommertrockenheit. Nach BOCHOW (1989) gehen die größten Schwankungen der Bodenmikroflora während der Vegetationsperiode auf Bodenfeuchte und Nährstoffangebot zurück.

Bodentrockenheit begünstigte bei Inokulation von arbuskulären Mykorrhizapilzen die Wurzelbildung (EIBACH, 1982).

4.1.6 Nachhaltigkeit von Inokulationswirkungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen ergibt sich die Frage, ob sich eine einmalige Inokulation auch noch positiv auf die nichtinokulierte Folgekultur auswirkt. Untersuchungen mit Tagetes zeigten, daß zur Vorkultur inokulierte arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp. VAM3) und/oder *Pseudomonas fluorescens* (PsIA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4) und *Rhizobium trifolii* (R39) auch die nicht inokulierte Folgekultur Tagetes mykorrhizieren können. Es wurden jedoch keine eindeutigen Wachstumsstimulierungen an der Folgekultur nachgewiesen. Daraus ergibt sich zunächst die Notwendigkeit einer jährlichen Neuinokulation der Pflanzen. Bei Miscanthus war die zur Pflanzung durchgeführte einmalige Inokulation in den drei geprüften Wachstumsjahren wirksam. ABBOTT und ROBSON (1981a,b) und YEAGER et al. (1990) stellten ebenfalls bei Folgekulturen keine Wachstumssteigerungen unter Freilandbedingungen fest. Die Ergebnisse von HAYMAN (1982) und GLANTE (1988, 1990a,b) bestätigen, daß eine hohe Infektionsrate von arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp.) nicht gleichbedeutend mit einer hohen Effektivität ist.

4.1.7 Mögliche Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert

4.1.7.1 Stoffwechselleistungen

Die geprüften Bakterien wiesen in Reinkultur unterschiedliche Stoffwechselleistungen wie Nitrogenaseaktivität, Nitratreduktase und Phosphor-Mobilisierung auf. Alle Bakterienstämme waren fähig, Auxine und z.T. Cytokinine zu bilden (Tab. 31). Zwischen Phytohormonbildung und Wurzelwachstum wie Wurzeltrockenmasse, -länge (Abb. 2) und den potentiell mikrobiellen Stoffwechselleistungen zeichneten sich positive Wechselbeziehungen ab. Die Vergrößerung der nährstofferschließenden Wurzeloberfläche ist wahrscheinlich eine wichtige Voraussetzung für erhöhte direkte oder indirekte Nährstoffaufnahmen aus dem Boden, für positive Wachstumseffekte und für die Verbesserung des Zierwertes bei Tagetes und Gladiolen. Indirekt kann durch die Produktion zahlreicher Stoffwechselprodukte der Bakterien auch eine schnellere Verpilzung mit arbuskulären Mykorrhizapilzen verursacht worden sein, was zu verbesserter Pflanzenernährung führte. Auch HÖFLICH und KÜHN (1996) erklärten positive Wachstumseffekte durch *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2, Psl2) bei Raps, Ölrettich und Senf als Wirkung einer direkten Nährstofferschließung (N, P, K) durch phytohormonell stimulierte Wurzelentwicklung auf lehmigem Sand und sandigem Lehm. Da vor allem Auxine die Wurzelverzweigung und Wurzelhaarbildung stimulieren ZOBEL (1991) und Cytokinine die Zellteilung und den Seitenaustrieb von Pflanzenorganellen fördern (ZIEGLER, 1983) kommen diese Ursachen für eine Stimulierung der Wurzelentwicklung auch in Betracht, vgl. TREWAVAS (1985), ZIMMER et al. (1988) und GIANINAZZI et al. (1995).

Die zeitigere Ausbildung von Knospen pro Pflanze bei Tagetes und Gladiolen durch inokulierte Mikroorganismen lassen stoffwechselphysiologische Reaktionen in der Pflanze vermuten. Das führte wahrscheinlich auch zur zeitigeren Blütenbildung bei Tagetes (Tab. 14, 15) und Gladiolen (Tab. 21, 22). Komplexe biochemische Veränderungen beeinflussten vermutlich ebenfalls die Verfrühung der Knospenbildung und des Blühverlaufes. Weitere Untersuchungen dazu sind dazu notwendig.

Die Produktion von Phytohormonen durch die inokulierten Bakterien führte wahrscheinlich zu verzögertem Protein- und RNA-Abbau in der generativen Entwicklung der Pflanzen. Dadurch wurde die allgemeine Synthesefähigkeit in den Zellen erhalten sowie die Seneszenz verzögert, vgl. DÖRFLING (1982). Bereits DAFT und OKUSANYA (1973) vermuteten Phytohormone als Ursache für Veränderungen der Blütenphysiologie. Auch arbuskuläre Mykorrhizapilze produzierten wahrscheinlich entweder selbst Hormone oder wirkten indirekt über die Beeinflussung des pflanzlichen Hormonhaushaltes (BAREA und AZCON-AGUILAR, 1982; DRÜGE, 1992; DRÜGE und SCHÖNBECK 1992). Weitere stoffwechselphysiologische Untersuchungen sind notwendig.

Die Wirtspflanze Tagetes lieferte in der zeitigen Pflanzenentwicklung Assimilate für die Produktion von phytoeffektiven Stoffwechselleistungen durch die Bakterien. Ein frühestmöglicher Inokulationszeitpunkt war wahrscheinlich deshalb für das Pflanzenwachstum förderlich, weil die Rhizosphärenbakterien das junge Wurzelgewebe besiedelten und durch die Produktion von Phytohormonen das Pflanzenwachstum stimulieren konnten.

Antagonistische Wirkungen z.B. gegenüber *Gaeumanomyces graminis* zeigten, daß die Bakterien konkurrenzfähig gegenüber der autochthonen Pilzflora sein können. Keine eindeutige Beziehung zu Wachstumsstimulierungen zeichnete sich bei Nitrogenaseaktivität, Nitratreduktase, Phosphor-Mobilisierung, Pektinase und Zellulase ab. Alle geprüften Bakterien verfügten über eine relativ hohe Osmotoleranz, das heißt sie können auch in Trockenperioden z.T. überleben. In der Tendenz konnten sich Tagetes 'Hawaii' durch inokulierte Bakterien besser an ungünstige Umweltbedingungen wie Sommertrockenheit anpassen (Tab. 30). Die Bakterien waren phytoeffektiv mit hoher Pflanzenaffinität. Das begründet auch die langanhaltenden wachstumsfördernden Effekte bei Tagetes 'Hawaii' bis zum Vegetationsende. Untersuchungen von HALL (1988), WILCOX (1991), SCHÜEPP (1994) und TATE (1995) bestätigen diese Ergebnisse.

In der Tendenz erhöhten arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) die Trockenstreßtoleranz von Tagetes auf urbanen anlehmigen Sandböden (Versuchsfelder) und auf einer extrem belasteten Verkehrsinsel. In diesen Versuchen wurden die Prolingehalte in den Pflanzen indirekt durch Inokulation dieser Mikroorganismen erniedrigt. Mechanismen dafür sind wahrscheinlich eine direkte Förderung der Wasseraufnahme (SIEVERDING, 1980), eine erhöhte Mineralstoffaufnahme (DEHNE, 1987), ein verbessertes Wurzelwachstum infolge der Inokulation von VAM3 bzw. Isolat 49 oder eine indirekte Beeinflussung des Wasserhaushaltes über verbesserte Phosphor-Versorgung, vgl. auch TURNER und JONES (1980), BETHLENFALVAY et al. (1988) und MENGEL (1991). SINGH et al. (1973) fanden an Gerste unmittelbar nach beginnender Einwirkung von Wassermangel auf das Pflanzengewebe eine Prolin-Akkumulation. Die Konzentration des Prolins stellte eine Funktion der Streßdauer und des Blattwasserpotentials dar. KRAMER (1983) dagegen fand nur aufgrund streßbedingter Störungen des Stickstoff-Metabolismus Prolin-Verbindungen und führte die Vorteile für die Pflanzen auf zufällige Effekte zurück. Untersuchungen dazu liegen schon bei *Medicago sativa* (PEÑA et al., 1988), bei *Rosa-Hybriden* (AUGE und STODOLA, 1990), bei *Zea mays* L. (MÜLLER und HÖFNER, 1991) und bei *Lycopersicon lycopersicum* sowie bei *Linum usitatissimum* L. (REICHENBACH, 1993) vor.

4.1.7.2 Mykorrhizierung

Arbuskuläre Mykorrhizapilze können mit ihren extraradikalen Hyphen die Nährstofferschließung aus dem Boden stimulieren (AMES und BETHLENFALVAY, 1987; SANYAL und DeDATTA, 1991; MARSCHNER und DELL, 1994; WEST, 1995; MARSCHNER, 1995, MÄDER, 1996; BACKHAUS und FELDMANN, 1997). Deshalb hat die Mykorrhizierung der Wurzeln eine besondere Bedeutung für das Pflanzenwachstum, vgl. auch MENGE (1983), JEFFRIES (1987) und HAAS et al. (1996). Die verstärkte Wurzelbildung durch die inokulierten Mikroorganismen förderte zusätzlich die mineralische Aufnahme von Nährstoffen aus dem Boden. Die Stimulierung des Wurzelwachstums durch die arbuskulären Mykorrhizapilze wirkte sich auch auf die weitere Entwicklung der Pflanzen so auf die Knospen- und Blütenanzahl pro Pflanze bei Tagetes und Gladiolen aus. Positive Wirkungen von arbuskulären Mykorrhizapilzen auf die Wirtspflanzen sind vermutlich auch auf die Aufnahme bzw. Produktion stimulierender Substanzen und Wuchsstoffe zurückzuführen, vgl. auch BAREA (1986), MARSCHNER et al. (1987) und DEHNE (1987).

Die auf den urbanen Standorten geringe autochthone Mykorrhizierung wurde auf beiden schlecht nährstoffversorgten urbanen anlehmigen Sandböden (Versuchsfelder, Verkehrsinsel) durch Inokulation unterschiedlicher arbuskulärer Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) wiederholt verbessert. Sie besiedelten schnell und intensiv die Wirtspflanzenwurzeln. In einem Kammerversuch (Anhang III) führte die kombinierte Inokulation von *Glomus intraradices* (Isolat 49) mit *Pseudomonas fluorescens* MIGULA signifikant zur schnelleren Verpilzung der Wurzeln, zur hohen Mykorrhizierung und zu hohen Wachstumseffekten im Vergleich zur Einzelwirkung bei Tagetes auf anlehmigem Sand. Die extensive Ausbreitung der Hyphen innerhalb der Zellen der Wurzelkortex und außerhalb der Wurzeln stimulierten vermutlich auch das Wurzelwachstum.

Einfluß inokulierter Bakterien auf die autochthone Mykorrhizierung

Inokulierte phytoeffektive Bakterien waren in der Lage, die Mykorrhizierung durch die im Boden natürlich vorhandene Pilzflora zu stimulieren. Untersuchungen zu autochthonen arbuskulären Mykorrhizapilzen (Tab. 35, 36) zeigten, daß sie potentiell im anlehmigen Sandboden des untersuchten Freilandstandortes in Berlin-Köpenick vorhanden sind. Das war eine Voraussetzung für die Stimulierung der Mykorrhizierung durch inokulierte Bakterien. Da die Sporenanzahl zu verschiedenen Jahreszeiten im Vergleich zur Most Probable Number der autochthonen arbuskulären Mykorrhizapilze im anlehmigen Sandboden relativ gering war, ging die Mykorrhizainfektion offensichtlich mehr von Hyphen und infizierten Wurzelstückchen als von Sporen aus. Eine intensive Mykorrhizierung führte nicht nur zur Erhöhung der Wurzellänge bei Tagetes, sondern wirkte sich vermutlich auch auf die Entwicklung der Rhizosphärenflora aus, vgl. auch MEYER und LINDERMAN (1986a, b) und DEHNE (1987).

Da Bakterienpräparate im Vergleich zu arbuskulären Mykorrhizapilzen technologisch leichter zu gewinnen, kostengünstiger zu produzieren und geringe Aufwandmengen erforderlich sind (HÖFLICH et al., 1993), hat dieses Ergebnis für eine großflächige Anwendung praktische Bedeutung. Im Kammerversuch (Anhang III) förderte *Pseudomonas fluorescens* MIGULA auch die autochthone Mykorrhizierung von Tagetes auf anlehmigem Sand. HÖFLICH et al. (1994) bestätigen, daß assoziative Bakterien wie *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) und *Rhizobium trifolii* (R39) die Symbiosen standortspezifischer Mykorrhizapilze mit Leguminosen beeinflussten. Auch AMES et al. (1984), AZCON-AGUILAR und BAREA (1985) sowie VANCURA (1989) fanden Interaktionen von Bakterien mit autochthonen Mykorrhizapilzen. Diesbezügliche Ergebnisse von MENGE et al. (1978, 1985), LAND (1990), GIANINAZZI-PEARSON et al. (1985) und SIEVERDING (1991) konnten bestätigt werden. Auch umgekehrt können inokulierte arbuskuläre Mykorrhizapilze die Bakterienwildpopulation beeinflussen (AZCON-AGUILAR und BAREA, 1985). HÖFLICH et al. (1993) fanden bei *Pisum sativum* eine erhöhte Nodulation der *Rhizobium*-Wildpopulation durch Inokulation von arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp.).

4.1.7.3 Besiedlungsverhalten der inokulierten Bakterien

Voraussetzung für wachstumsstimulierende Effekte durch inokulierte Bakterien sind die Besiedlung, das Überleben und die Vermehrung in der Rhizosphäre ihrer Wirtspflanzen während des Vegetationsverlaufes. Antibiotikaresistente Mutanten von *Pseudomonas fluorescens* (PsIA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Stenotrophomas maltophilia* (PsIB2) und *Rhizobium trifolii* (R39) überlebten während der Vegetationsperiode an unterschiedlichen Wurzelabschnitten von Tagetes und Gladiolen zur Auspflanzung und zur Blüte im Freiland. Untersuchungen von LISTE (1992), WIEHE et al. (1994), WIEHE und HÖFLICH (1995a,b) sowie HÖFLICH et al. (1995, 1996, 1997) bestätigen das Überleben von PsIA12, A1A4, PsIB2 und R39 während der Vegetationsperiode im Freiland bei Erbsen, Lupinen und Mais auf lehmigem Sand und auf sandigem Lehm. Die Identität der antibiotikaresistenten Bakterien wurde serologisch mit den Ausgangsstämmen nachgewiesen (WIEHE et al., 1995).

Bei Tagetes wurden Wechselbeziehungen zu Wachstumsstimulierungen nachgewiesen. Die Bakterien gingen mit den Pflanzen eine enge Assoziation ein. Dafür spricht die langanhaltende Besiedlung. Obwohl die Bakterien an Gladiolenwurzeln überlebten, konnten keine wiederholbaren Wachstumseffekte erzielt werden.

Nach einjähriger Trockenlagerung des Bodens von inokulierten Tagetes besiedelten die im Boden überlebenden PsIA12- und PsIB2-Bakterien auch die Rhizosphäre der nichtinokulierten Folgekultur Tagetes erneut. Es gibt bisher wenige Untersuchungen dazu. WIEHE und HÖFLICH (1995b) wiesen die Wiederbesiedlung von PsIA12 bzw. R39 an nichtinokulierten Pflanzen (Mais, Erbsen, Lupinen) nach einjähriger Trockenlagerung des Bodens nach. Weitere Ergebnisse liegen bei Winterweizen (DEFREITAS und GERMIDA, 1992) und bei Zwischenfrüchten (REYES und SCHMIDT, 1979) vor.

PsIA12 hatte unter Gefäß- und Feldbedingungen wiederholt sowohl an Tagetes- als auch an Gladiolenwurzeln die höchste Besiedlungsrate. Untersuchungen von WIEHE et al. (1994) bestätigen bei *Lupinus albus* und *Pisum sativum* eine höhere Wurzelbesiedlung von PsIA12 als von R39. Durch diese Mikroorganismen wurde das Wachstum von Lupinen mehr als das von Erbsen im Gewächshaus gefördert. PsIA12 konnte in dichten Kolonien in den Interzellularräumen des lebenden Kortextgewebes der Wirtspflanzen nachgewiesen werden, vgl. auch KLOEPPER et al. (1992).

4.2 Schlußfolgerungen

4.2.1 Erste Schlußfolgerungen für eine mögliche Nutzung von Rhizosphärenmikroorganismen bei Zierpflanzen für den urbanen Bereich

Die erfolgreiche Inokulation von arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) und assoziativen Rhizosphärenbakterien setzt eine umfassende Erprobung der Wirkungen unter differenzierten ökologischen Bedingungen sowie Streßsituationen voraus. Optimale Kulturführung und Pflanzenhygiene sind Grundbedingungen für positive Wirkungen inokulierter Mikroorganismen. In der gärtnerischen Produktion in Deutschland hat sich die Anwendung von Inokulum-Präparaten aufgrund spezifischer komplexer Wirkungsmechanismen und Schwankungen in der Leistungsfähigkeit inokulierter Mikroorganismen in Abhängigkeit von ökologischen Faktoren noch nicht durchgesetzt. Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß eine Nutzung von Rhizosphärenmikroorganismen besonders für belastete urbane städtische Bepflanzungen wie Verkehrsinseln von Vorteil sein kann. Überwiegend unter Gewächshausbedingungen wurden wiederholt bei *Petunia-Hybriden* (DAFT und OKUSANYA, 1973), bei *Heliotropium arborescens*, *Fuchsia x hybrida* und *Kalanchoe x hybrida* auf Sand und Rindensubstrate (BACKHAUS, 1984), bei Reben in Gefäßversuchen (KARAGIANNIDIS et al., 1995) aber auch unter Ackerstandorten bei Mais (BALTRUSCHAT, 1987) und bei Rosen (GIANINAZZI et al., 1990a, b) unter Beachtung der o.g. Faktoren positive Inokulationseffekte erzielt. Das läßt eine erfolgreiche Nutzung unter Praxisbedingungen erwarten vgl. auch SIEVERDING und SAIF (1984) sowie BACKHAUS und FELDMANN (1996, 1997).

Positive Wirkungen von Rhizosphärenmikroorganismen auf das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen für den urbanen Bereich unter praxisrelevanten Freiland- und gemäßigten Klimabedingungen zeichneten sich bei *Tagetes* und *Miscanthus* ab. Es wurden pflanzenartsspezifische Effekte durch die inokulierten Mikroorganismen erzielt. Bei *Tagetes* war die Inokulation mit Einzelmikroorganismen und bei *Miscanthus* waren die Kombinationen von Mikroorganismen wirksam. Die Ergebnisse lassen sich aufgrund komplexer Wirkungsmechanismen und der Beeinflussung durch die Wirtspflanzen nicht auf andere Zierpflanzen übertragen. Die Leistungsfähigkeit von Rhizosphärenmikroorganismen muß demnach für die jeweilige Pflanzenart neu ermittelt werden.

Da *Tagetes* im urbanen Bereich Bedeutung haben, zeichnen sich hier Nutzungschancen ab. Die Sortenspezifität ist ebenfalls zu beachten. Mit *Miscanthus* und Gladiolen sind weitere Effektivitätsuntersuchungen notwendig. Als Mikroorganismen waren sowohl Bakterien als auch arbuskuläre Mykorrhizapilze in der Lage, das Wachstum und den Zierwert bei *Tagetes* und *Miscanthus* zu verbessern. Die geprüften Bakterien wiesen phytoeffektive Stoffwechselleistungen auf und überlebten während der Wachstumsperiode in der Rhizosphäre.

Inokulierte phytoeffektive Bakterien förderten die autochthonen arbuskulären Mykorrhizapilze im Boden. Da Bakterienpräparate im Vergleich zu arbuskulären Mykorrhizapilzen technologisch leichter zu gewinnen, kostengünstiger zu produzieren und geringe Aufwandsmengen erforderlich sind, hat dieses Ergebnis für eine großflächige Anwendung praktische Bedeutung.

Glomus intraradices (Isolat 49) und *Glomus ssp.* (VAM3) erwiesen sich als wirksames Mykorrhizapilz-Inokulum. Sowohl die Inokulation von Torfpräparaten als auch von Blähtoninokulum an die Wirtspflanzen (Saatgut, Pflanzen, Knollen) waren geeignete Inokulationsmethoden. Mit Blähton als Träger des Mykorrhizainokulums liegen bereits positive Ergebnisse vor (BACKHAUS, 1984; DEHNE und BACKHAUS, 1986; DEHNE, 1987; ALTEN et al., 1993). Der frühestmögliche Inokulationstermin zur Aussaat bzw. Pflanzung zeichnete sich als vorteilhaft ab. Die Vorinokulation zur Anzucht im Gewächshaus und die spätere Verpflanzung auf den Endstandort im Freiland war bei *Tagetes* effektiver als die direkte Freilandinokulation.

4.2.2 Schlußfolgerungen für weiterführende Arbeiten

Für eine ressourcensparende gärtnerische Produktion sind weitere anwendungsorientierte Untersuchungen zum Einfluß wachstumsstimulierend wirkender arbuskulärer Mykorrhizapilze und assoziativer Rhizosphärenbakterien auf das Wachstum und den Zierwert von Gladiolen und *Miscanthus* sowie von weiteren Zierpflanzen erforderlich. Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1. Prüfung bereits selektierter phytoeffektiver Mikroorganismen hinsichtlich reproduzierbarer positiver Effekte bei weiteren Zierpflanzenarten auf urbanen Standorten mit reduziertem umweltschonendem Dünge- und Agrochemikalienaufwand.
2. Charakterisierung und Untersuchung von optimalen Wirkungsbedingungen für arbuskuläre Mykorrhizapilze und assoziative Rhizosphärenbakterien bei Zierpflanzen in Abhängigkeit von ökologischen Faktoren.
3. Selektion weiterer effektiver Mikroorganismen und/bzw. Ermittlung wirksamer Kombinationen von arbuskulären Mykorrhizapilzen mit assoziativen Rhizosphärenbakterien für Zierpflanzen im Freiland.
4. Weitere Aufklärung von Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert bei Zierpflanzen bei Beachtung von:
 - Pflanzenart- und Sortenspezifität
 - Mikrobiellen Stoffwechselleistungen (Phytohormonbildung)
 - Besiedlungsverhalten der Mikroorganismen während der Vegetation und an Folgekulturen
 - Interaktionen mit anderen Rhizosphärenmikroorganismen und Wechselwirkungen mit ökologischen Faktoren
5. Verstärkte Prüfung von Rhizosphärenmikroorganismen auf Standorten mit extremen abiotischen- und biotischen Streßbelastungen wie Trockenheit, Abgase, Krankheitsbefall, Bodenverdichtungen

5 Zusammenfassung

Ziel der Untersuchungen war es, das Wachstum und den Zierwert von Zierpflanzen auf urbanen Standorten, bei geringer Umweltbelastung mit Düngemitteln, durch Nutzung natürlicher Ressourcen wie z.B. phytoeffektiver Rhizosphärenmikroorganismen zu verbessern.

In Gefäß- und Freilandversuchen wurden auf unterschiedlichen urbanen Standorten mit anlehmigem Sand bei Tagetes, Gladiolen und Miscanthus inokulierte arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) und assoziative Rhizosphärenbakterien (*Pseudomonas fluorescens* PsIA12, *Agrobacterium rhizogenes* A1A4, *Rhizobium trifolii* R39, *Stenotrophomas maltophilia* PsIB2 bzw. PsI2), die das Wachstum landwirtschaftlicher Kulturpflanzen auf Ackerstandorten förderten, getestet.

Mit dem Ziel, mikrobielle Inokulationseffekte zu verbessern, wurden Kombinationswirkungen von unterschiedlichen Mikroorganismen, pflanzenart- und sortenspezifische Unterschiede sowie Kombinationen von organischer oder mineralischer Düngung und Mikroorganismen geprüft. Zur Aufklärung von Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert wurden die Stoffwechseleleistungen der Bakterien in Reinkultur charakterisiert und das Besiedlungsverhalten der Mikroorganismen in der Rhizosphäre während der Vegetationsperiode und an einer nicht inokulierten Folgekultur ermittelt.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Untersuchungen zur Inokulumform und zum Inokulationstermin ergaben, daß bei Bakterien Präparate mit Torf als Träger auf urbanen Standorten geeignet waren. Bakteriensuspensionen als Inokulum zeichneten sich als nicht effektiv ab. Für arbuskuläre Mykorrhizapilze erwiesen sich Torf-Bentonit-Gemische und der anorganische Inokulumträger Blähton als wirksam. Bei Tagetes haben sich frühestmögliche Inokulationen zur Aussaat bewährt. Dadurch wurden wiederholt die Anzucht- bzw. Kultivierungszeiten verkürzt und Pflanzenausfälle im Gewächshaus reduziert.
2. Inokulationen zum Pflanztermin waren bei Tagetes nicht effektiv. Bei Miscanthus war eine Inokulation zur Pflanzung in das Freiland mit unterschiedlichen Inokulumformen (Torfpräparate, Blähton) wirksam. Bei Gladiolen war die Knolleninokulation im Freiland nicht wirksam. Der Inokulationsaufwand war bei den geprüften Zierpflanzen unter praxisrelevanten Anbaumethoden relativ gering. Da von Pflanzen auf Ackerstandorten isolierte Bakterien auch auf urbanen Standorten wirksam waren, zeichnete sich keine Notwendigkeit ab, standortspezifische Isolate zu gewinnen.

3. In zweijährigen Inokulationsversuchen auf urbanen Standorten mit nährstoffarmen anlehmigen Sandböden (Berlin-Köpenick) bewirkten sowohl arbuskuläre Mykorrhizapilze (VAM3, Isolat 49) als auch assoziative Rhizosphärenbakterien unterschiedlicher Gattungen wie *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) und *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2, Psl2) Wachstumsstimulierungen bei *Tagetes-Erecta-Hybriden* der Sorte 'Hawaii'. Ein ungleichmäßiges Wachstum von *Tagetes* auf urbanen Standorten konnte wiederholt durch Inokulation verbessert werden. Bei *Tagetes* und *Miscanthus* wurden durch inokulierte Mikroorganismen besonders die Wurzellänge bzw. -trockenmasse stimuliert. Bei Gladiolen und *Miscanthus* wurden mit Einzelinokulationen dieser Mikroorganismen nur positive Trends, aber keine wiederholten signifikanten Wachstumsstimulierungen erzielt.
4. Durch kombinierte Inokulation von arbuskulären Mykorrhizapilzen (VAM3) mit assoziativen Rhizosphärenbakterien bzw. von unterschiedlichen Bakterienkombinationen wurden die Wirkungen der Einzelmikroorganismen bei *Tagetes* und Gladiolen wiederholt nicht verbessert. Bei *Miscanthus* zeichneten sich positive Kombinationswirkungen von arbuskulären Mykorrhizapilzen (VAM3) mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) bzw. mit *Rhizobium trifolii* (R39) ab. Aber auch die Bakterienkombinationen *Rhizobium trifolii* (R39) mit *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2), R39 mit PslA12, *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4) mit PslA12 und A1A4 mit PslB2 waren bei *Miscanthus* wiederholt effektiver als die Einzelmikroorganismen. Die Wirkung hielt bei *Miscanthus* in den drei geprüften Wachstumsjahren an.
5. Die mikrobielle Wachstumsförderung wirkte sich auch positiv auf den Zierwert aus. Bei *Tagetes* wurde die Knospenanzahl pro Pflanze wiederholt bereits im Jungpflanzenstadium gefördert. Die positiven Wirkungen hielten teilweise bis zum Spätsommer an. Innerhalb einer Pflanzenart traten sortenspezifische Unterschiede auf. Bei der *Tagetes*sorte 'Yellow Supreme' waren die Mikroorganismen meist effektiver als bei der Sorte 'Hawaii'. Auch bei Gladiolen wurde z.T. die Anzahl der Knospen pro Pflanze und die Anzahl der farbezeigenden Blütenknospen pro Gladiolenrispe stimuliert.
6. Auch auf einer extrem belasteten Verkehrsinsel (Trockenheit, Abgase, Krankheitsbefall, Bodenverdichtungen) stimulierten arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp. VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) die Knospenanzahl pro Pflanze und die Wurzellänge von *Tagetes-Erecta-Hybriden* der Sorte 'Hawaii'.
7. Der Düngungseffekt von Tonmudde-Torf-Gemisch (6 kg/m²) konnte bei *Tagetes* auch durch Inokulation von *Glomus* ssp. (VAM3) mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) erreicht werden. Den besten wachstumsstimulierenden Effekt brachte die Kombination von organischer Düngung mit den Mikroorganismen. Bei *Miscanthus* bewirkte ein Humussubstrat-Lehm-Gemisch (0,7 l/Gefäß) keine eindeutige Stimulierung der Sproßlänge und der Triebanzahl pro Pflanze. Inokulationen von VAM3 mit PslA12 waren sowohl ohne als auch mit organischer Düngung in drei Jahren auf urbanem anlehmigem Sandboden im Freiland wirksam.

8. Bei *Tagetes* wurde die Sproßtrockenmasse sowohl durch mineralische NPK-Düngungsgabe als auch durch Inokulation von *Glomus* ssp. (VAM3) mit *Pseudomonas fluorescens* (PslA12) auf anlehmigem Sand im Freiland gefördert. Es wurden aber nicht gleichwertige Wirkungen wie bei der Mineraldüngung erreicht. Die Wirkung von NPK-Langzeitdüngern wie Floranid, Osmocote, Plantacote und einer NPK-Grunddüngung auf die Sproßtrockenmasse und die Blütenanzahl pro Pflanze bei *Tagetes* wurde durch VAM3 mit PslA12 verbessert.
9. In Sommertrockenperioden war der positive Inokulationseffekt von arbuskulären Mykorrhizapilzen (*Glomus* ssp. VAM3) und/oder *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39), *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2, Psl2) auf die Sproßlängenzunahme von *Tagetes-Erecta-Hybriden* 'Hawaii' deutlicher als in Feuchtperioden. Inokulierte *Tagetes* konnten sich besser an ungünstige Umweltbedingungen wie Sommer-trockenheit anpassen.
10. Zur Vorkultur inokulierte arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp. VAM3) und/oder *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Rhizobium trifolii* (R39) konnten auf anlehmigem Sand auch die nicht inokulierte Folgekultur *Tagetes* mykorrhizieren. Es wurden jedoch keine eindeutigen Wachstumsstimulierungen an der Folgekultur nachgewiesen. Bei den mehrjährigen *Miscanthus* war die zur Pflanzung durchgeführte Inokulation in den drei geprüften Wachstumsjahren wirksam.
11. Mögliche Wirkungsursachen für die mikrobielle Stimulierung von Wachstum und Zierwert sind die unterschiedlichen Stoffwechselleistungen der Bakterien. In Reinkultur waren alle geprüften Bakterien fähig, Auxine und z.T. Cytokinine zu bilden. Antagonistische Wirkungen der Bakterien gegenüber Wurzelschaderregern z.B. *Gaeumanomyces graminis* wiesen auf ihre Konkurrenz-fähigkeit gegenüber anderen Mikroorganismen hin. Keine eindeutige Beziehung zu Wachstums-stimulierungen zeichneten sich bei Nitrogenaseaktivität, Nitratreduktase, Phosphor-Mobilisierung, Pektinase und Zellulase ab. Alle geprüften Bakterien verfügten über eine relativ hohe Osmotoleranz.
12. Zwischen Phytohormonbildung und Wurzelwachstum zeichneten sich positive Wechsel-beziehungen ab. Die Vergrößerung der nährstofferschließenden Wurzeloberfläche ist wahr-scheinlich eine wichtige Voraussetzung für erhöhte direkte oder indirekte Nährstoffaufnahme aus dem Boden, für positive Wachstumsstimulierungseffekte und für die Verbesserung des Zier-wertes bei *Tagetes* und Gladiolen.
13. Niedrigere Prolingehalte in *Tagetes* sind ein Indikator dafür, daß arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp., VAM3, *Glomus intraradices* Isolat 49) indirekt die Trockenstreßtoleranz erhöhten.

14. Die auf den urbanen Standorten geringe autochthone Mykorrhizierung der Pflanzen wurde auf beiden schlecht nährstoffversorgten urbanen anlehmigen Sandböden (Versuchsfelder, Verkehrsinsel) durch Inokulation unterschiedlicher arbuskulärer Mykorrhizapilze (*Glomus* ssp., VAM3 bzw. Isolat 49) wiederholt verbessert. Auch inokulierte phytoeffektive Bakterien stimulierten die Mykorrhizierung der Wirtspflanzen durch die im Boden natürlich vorhandene autochthone Pilzflora.
15. Untersuchungen zum Besiedlungsverhalten der Bakterien zeigten, daß antibiotikaresistente Mutanten von *Pseudomonas fluorescens* (PslA12), *Agrobacterium rhizogenes* (A1A4), *Stenotrophomas maltophilia* (PslB2) und *Rhizobium trifolii* (R39) während der Vegetationsperiode an unterschiedlichen Wurzelabschnitten von Tagetes und Gladiolen überlebten. Nach einjähriger Trockenlagerung des Bodens von inokulierten Tagetes besiedelten die im Boden überlebenden PslA12- und PslB2-Bakterien auch die Rhizosphäre der nichtinokulierten Folgekultur-Tagetes.
16. Möglichkeiten für eine Nutzung von Rhizosphärenmikroorganismen zur Verbesserung von Wachstum und Zierwert von Zierpflanzen für den urbanen Bereich unter gemäßigten Klima- und praxisrelevanten Freiland-Bedingungen und zeichneten sich insbesondere bei Tagetes ab. Mit Miscanthus und Gladiolen sind weitere Effektivitätsuntersuchungen notwendig. Als Mikroorganismen waren sowohl Bakterien als auch arbuskuläre Mykorrhizapilze wirksam. Optimale Kulturführung und Pflanzenhygiene sind Voraussetzungen für das positive Wirken von inokulierten Mikroorganismen.
17. Eine gezielte Nutzung von Rhizosphärenmikroorganismen zur Verbesserung von Wachstum und Zierwert im urbanen Bereich erfordert weitere Forschungsarbeit zur Aufklärung von Wirkungsursachen bei Beachtung von:
 - Pflanzenarten- und Sortenspezifität
 - Mikrobiellen Stoffwechselleistungen
 - Besiedlungsverhalten der Mikroorganismen während der Vegetation und an Folgekulturen
 - Interaktionen mit anderen Rhizosphärenmikroorganismen
 - Wechselwirkungen mit ökologischen Faktoren

6 Literaturverzeichnis

- ABBOTT, L.K. und ROBSON, A.D. (1981a): Infectivity and effectiveness of five vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: Competition with indigenous fungi in field soils. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 612-630
- ABBOTT, L.K. und ROBSON, A.D. (1981b): Infectivity and effectiveness of five vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: Effect of inoculum type. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 631-639
- ABBOTT, L.K. und ROBSON, A.D. (1985): The formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 99, 245-255
- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D.; GAZEY, C. (1994): Selection of inoculant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: NORRIS, J.R.; READ, D.; VARMA, A.K. (Hrsg.): *Techniques for mycorrhizal Research*, Academic Press, Harcourt Brace & Co, London
- ABOUL-NASR, A. (1996): Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on *Tagetes erecta* and *Zinnia elegans*. *Mycorrhiza* 6, 61-64
- ALEXANDER, M. (1965): Most Probable Number method for microbial populations. In: BLACK, C.A. (Hrsg.): *Methods of soil analysis II*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA
- ALTEN, H. v.; LINDEMANN, A.; SCHÖNBECK, F. (1991): Increasing VA-mycorrhization with applications of rhizosphere bacteria. In: KEISTER, D.L. und CREGAN, P.B. (Hrsg.): *The rhizosphere and plant growth*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 381
- ALTEN, H. v.; LINDEMANN, A.; SCHÖNBECK, F. (1993): Stimulation of vesicular-arbuscular autochthonous mycorrhiza by fungicides or rhizosphere bacteria. *Mycorrhiza* 2, 167-173
- AMES, R.N. und BETHLENFALVAY, G.J. (1987): Mycorrhizal fungi and the integration of plant and soil nutrient dynamics. *J. Plant Nutrition* 10, 1313-1321
- AMES, R.N.; REID, C.P.P.; INGHAM, E.R. (1984): Rhizosphere bacterial population responses to root colonization by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytol.* 96, 555-563
- AUGE, R.M. und STODOLA, A.J.W. (1990): An apparent increase in symplastic water contributes to greater turgor in mycorrhizal roots of droughted *Rosa* plants. *New Phytol.* 115, 285-295
- AZCON, R. (1989): Selective interactions between free living rhizosphere bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 21, 639-644
- AZCON, R.; AZCON-AGUILAR, C.; BAREA, J.M. (1978): Effects of plant hormones present in bacterial cultures on the formation and responses to VA endomycorrhizae. *New Phytol.* 80, 359-364
- AZCON-AGUILAR, C. und BAREA J.M. (1985): Effect of soil microorganisms on the formation of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 84, 536-537
- AZCON-AGUILAR, C. und BAREA J.M. (1992): Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. In: ALLEN, M.F. (Hrsg.): *Mycorrhizal functioning*. Chapman and Hall, London, 163-198
- BACKHAUS, G.F. (1984): Untersuchungen zur Nutzung der endotrophen (VA) Mykorrhiza in der gärtnerischen Pflanzenproduktion. Diss., Univ. Hannover
- BACKHAUS, G.F. und FELDMANN, F. (1996): Mykorrhiza in gärtnerischen Substraten - endlich einsetzbar? *Taspo Gartenbaumagazin* 4, Thalacker Verlag, 12-14

- BACKHAUS, G.F. und FELDMANN, F. (1997): Anwendung arbuskulärer Mykorrhizapilze im Pflanzenbau. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, Heft 332
- BAGYARAJ, D.J. (1984): Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. In: POWELL, C.L. und BAGYARAJ, D.J. (Hrsg.): VA mycorrhiza. CRC Press, Boca Raton, 131-153
- BAGYARAJ, D.J. (1991): Ecology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: ARORA, D.K.; RAI, B.; MUKERJI, K.G.; KNUDSEN, G.R. (Hrsg.): Handbook of applied mycology, Vol. I: Soil and plants. Marcel Dekker, New York, 3-43
- BAGYARAJ, D.J. und MANJUNATH, A. (1988): Selection of a suitable host for mass production of VA mycorrhizal inoculum. Plant Soil 55, 495-498
- BALTRUSCHAT, H. (1987): Zur möglichen Nutzung der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza in der Pflanzenproduktion. Gesunde Pflanzen 39, Heft 12, 510-518
- BALTRUSCHAT, H. und DEHNE, H.-W. (1986): Auswirkungen einseitiger Mineraldünger auf die VA-Mykorrhiza in einer dreifeldrigen Fruchtfolge. Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent 51, 477-484
- BAREA, J.M. (1986): Importances of hormones and root exudates in mycorrhizal phenomena. In: GIANINAZZI-PEARSON, V. und GIANINAZZI, S. (Hrsg.): Physiological and genetical aspects of mycorrhizae. INRA, Paris, 177 - 187
- BAREA, J.M. und AZCON-AGUILAR, C. (1982): Production of plant-growth-regulating substances by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mossae*. Appl. Env. Microbiol. 43, 810-813
- BAREA, J.M. und AZCON-AGUILAR, C. (1983): Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. Adv. Agron. 36, 1-54
- BAREA, J.M.; AZCON, R.; HAYMAN, D.S. (1975): Possible synergistic interactions between endogene and phosphate-solubilising bacteria in low-phosphate soils. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B. (Hrsg.): Endomycorrhizas. Academic Press, London
- BAREA, J.M.; ESCUDERO, J.L.; AZCON-AGUILAR C. (1980): Effects of introduced and indigenous vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on nodulation, growth and nutrient uptake of *Medicago sativa* in phosphate-fixing soils as affected by P fertilizers. Plant Soil 54, 283-296
- BAREA, J.M.; AZCON, R.; AZCON-AGUILAR, C. (1993): Mycorrhiza and crops. Adv. Plant Pathol. 9, 167-198
- BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, J.D. (1973): Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil 39, 205-207
- BAVARESCO, L. und FOGHER, C. (1991): Effect of *Pseudomonas fluorescens* and *Glomus mossae* on chlorosis occurrence in grapevine ungrafted rootstocks. Tagungsbd. der OILB, AG „Lutte intégrée en Viticulture“, Conegliano, Italien, 26.-28.2.1991
- BAVARESCO, L. und FOGHER, C. (1996): Lime-induced chlorosis of grapevine as affected by rootstock and root infection with arbuscular mycorrhiza and *Pseudomonas fluorescens*. Vitis 35, 119-123
- BEAUCHAMP, C.J.; DION, P.; KLOEPPER, J.W.; ANTOUN, H. (1991): Physiological characterisation of opine-utilizing rhizobacteria for traits related to plant growth-promoting activity. Plant Soil 132, 273-279

- BECK, T.H. (1984): Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden: II. Mitteilung: Beziehung zum Humusgehalt. Z. Pfl.ern. u. Bodenkd. 147, 467-475
- BETHLENFALVAY, G.J. und NEWTON, W.E. (1990): Agro-ecological aspects of the mycorrhizal, nitrogen-fixing legume symbiosis. In: KEISTER, D.L. und CREGAN, P.B. (Hrsg.): The Rhizosphere and Plant Growth. Beltsville Symposium XIV, USDA-ARS, 349-354
- BETHLENFALVAY, G.J.; BAYNE, H.G.; PACOVSKY, R.S. (1983): Parasitic and mutualistic associations between a mycorrhizal fungus and soybean. *Physiol. Plant* 57, 543-548
- BETHLENFALVAY, G.J.; BROWN, M.S.; AMES, R.N., THOMAS, R.S. (1988): Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Physiol. Plant* 72, 565-571
- BETHLENFALVAY, G.J.; BROWN, M.S.; STAFFORD, A.E. (1995): *Glycine-Glomus-Rhizobium* symbiosis II.: Antagonistic effects between mycorrhizal colonisation and nodulation. *Plant Physiol.* 79, 1054-1058
- BLUME, H.-P. (1990): Handbuch des Bodenschutzes. Ecomed Verlagsgesellschaft mbH
- BOCHOW, H. (1989): Nutzung mikrobieller Antagonisten im biologischen Pflanzenschutz gegen pilzliche Wurzel- und Welkeerkrankungen bei der Produktion von Gemüse und Zierpflanzen in Gewächshäusern. Gartenbau, Heft 11, 333-340
- BOCHOW, H. und ABOU-SHAAR, M. (1990): Zur phytosanitären Wirkung der VA-Mykorrhiza bei der Tomate gegenüber der Korkwurzelkrankheit. *Zentralb. Mikrobiol.* 145, 171-176
- BOTHE, H.; KÖRSGEN, H.; LEHMACHER, T.; HUNDESHAGEN (1992): Differential effects of *Azospirillum*, auxin and combined nitrogen on growth of the roots of wheat. *Symbiosis* 13, 167-179
- BRANZANTI, B.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. (1990): Influence of artificial substrate on mycorrhization of micropropagated fruit-trees in a horticultural system. Poster, 3. Europäisches Symposium zur Mykorrhiza, Sheffield
- BRUNDRETT, M.C. und ABBOTT, L.K. (1991): Roots of jarrah forest plants. I. Mycorrhizal associations of shrubs and herbaceous plants. *Aust. J. Bot.* 39, 445-457
- BRYLA, D.R. und KOIDE, R.T. (1990): Regulation of reproduction in wild and cultivated *Lycopersicon esculentum* Mill. by vesicular-arbuscular mycorrhizal infection. *Oecologia* 84, 74-81
- BÜHL, A. und ZÖFEL, P. (1994): SPSS für Windows Version 6 - Praxisorientierte Einführung in die moderne Datenanalyse. Addison-Wesley Publishing Co.
- COCHRAN, W.G. (1950): Estimation of bacterial densities by means of the 'most probable number' method. *Biometrics* 6, 105-116
- COLLINS, C.H. (1964): Microbiological Methods. London
- COOPER, K.M. (1984): Physiology of VA mycorrhizal associations. In: POWELL, C.L. und BAGYARAJ, D.J. (Hrsg.): VA mycorrhiza. CRC Press, Boca Raton, 155-186
- DAFT, M.J. und OKUSANYA, B.O. (1973): Effect of Endogene mycorrhiza on plant growth. VI. Influence of infection on the anatomy and reproductive development in four hosts. *New Phytol.* 72, 1333-1339

- DAVIES, F.T. jr. ; POTTER, J.R.; LINDERMAN, R.G. (1992): Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hyphae development of pepper plants independent of plant size and nutrient content. J. Plant Physiol. 139, 289-294
- DEFREITAS, J.R. und GERMIDA, J.J. (1992): Growth promotion of winter wheat by fluorescent *Pseudomonas* under field conditions. Soil Biol. Biochem. 24, 1137-1146
- DEHNE, H.-W. (1987): Zur Nutzung der VA Mykorrhiza als Antistressfaktor. Angew. Botanik 61, 135-143
- DEHNE, H.-W. (1987): Zur Bedeutung der vesikulär-arbuskulären (VA) Mykorrhiza für die Pflanzengesundheit. Habilitationsschrift, Uni. Hannover
- DEHNE, H.-W. und BACKHAUS, G.F. (1986): The use of VAM fungi in plant protection. I. Inoculum production. Z. f. Pfl.krankh. u. Pfl.schutz 93, 415-424
- DIEDERICHS C. (1981): Einfluß des Lichtes auf die Wirksamkeit der vesikulär-arbuskulären (VA)-Mykorrhiza bei tropischen und subtropischen Pflanzen. Diss., Univ. Göttingen
- DOMY, S. (1987): Untersuchungen zur mikrobiellen Phosphatmobilisierung in der Rhizosphäre von Winterweizen, Winterroggen und Luzerne. Diss., Akademie der Landw.wiss. der DDR
- DÖRFLING, K. (1982): Das Hormonsystem der Pflanzen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- DOTT, W. (1995): Mikrobiologische Bodensanierung mit vorgezüchteten Mikroorganismen (Starterkulturen). Nach einer Firmenschrift von Biodetox Umwelt-Labor (Ahnsen) und Arbeitsgruppe der Medizinischen Fakultät, Fachgebiet Hygiene, Tech. Univ. Berlin, Mitteilungsbl. d. GDCh-Fg. Umweltchemie u. Ökotoxikologie 1, Nr. 2
- DREWS, M. (1968): Eine Schnellmethode zur Bestimmung des Humusgehaltes von gärtnerisch genutzten Böden. Archiv für Gartenbau 16, 390-399
- DRÜGE, U. (1992): Zur Wachstumsförderung von Lein (*Linum usitatissimum* L.) durch VA Mykorrhiza unter besonderer Berücksichtigung der Cytokinine. Diss., Univ. Hannover
- DRÜGE, U. und SCHÖNBECK, F. (1992): Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on transpiration, photosynthesis and growth of flax (*Linum usitatissimum* L.) in relation to cytokinin levels. J. Plant Physiol. 141, 40-48
- DUGASSA, D.G.; GRUNEWALDT-STÖCKER, G.; SCHÖNBECK, F. (1995): Growth of *Glomus intraradices* and its effect on linseed (*Linum usitatissimum* L.) in hydroponic culture. Mycorrhiza 5, 279-282
- EGNER, H. (1932): Medd. Nr. 425 från Centralanstalten för försöksveseucht jsajordbruksomracht, Avedeln för lantbrukskemie, Stockholm, Nr. 51
- EIBACH, H. (1982): Die vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza der Rebe, Diss., Univ. Hohenheim
- FELDMANN, F.; WERITZ, J.; BOYLE, C.; BACKHAUS, G.F. (1996): Symbiontische Mykorrhizapilze im Pflanzenbau. Dt. Gartenbau 50, 10-33
- FISHER, R.A. und YATES, F. (1974): Statistical tables for biological, agricultural and medical research. Oliver and Boyd, Edinburgh, Tab. VIII2, 66
- FÖRSTER, I. (1984): Beiträge zur Phosphormobilisierung durch Bodenmikroorganismen, 1. Mitt.: Wechselbeziehungen zwischen mikrobieller Aktivität in der Rhizosphäre und Phosphataufnahme der Pflanze. Zbl. Mikrobiol. 139, 519-526

- FRIED, A. (1991): Untersuchungen mikrobieller Aktivitäten in ackerbaulich genutzten Böden unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses von Pflanzenschutzmitteln. Diss., Univ. Göttingen
- FRIED, S. (1988): Untersuchungen über den Einfluß der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza und mikrobieller Antagonisten auf bodenbürtige Mykosen der *Gerbera jamesonii*. Dipl., Humboldt-Univ. zu Berlin
- FRIETZ, G. (1989): Die Bedeutung der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza bei gärtnerischen Kulturpflanzen aus phytosanitärer Sicht. Dipl., Humboldt-Universität zu Berlin
- GERDEMANN, J.W. und NICOLSON, T.H. (1963): Spores of mycorrhizal endogone extracted from soil by wet-sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc. 46, 235-244
- GERLACH, D. (1969): Botanische Mikrotechnik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- GIANINAZZI, S.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; TROUVELOT, A. (1990a): Potentialities and procedures for the use of endomycorrhizas with emphasis on high value crops. In: WHIPS, J.M. und LUMSDEN, B. (Hrsg.): Biotechnology of fungi for improving plant growth. Cambridge University Press, Cambridge, 41-54
- GIANINAZZI, S.; TROUVELOT, A.; GIANINAZZI-PEARSON, V. (1990b): Role and use of mycorrhizas in horticultural crop production. 23rd I.H.C. Plenary Lectures. Intern. Soc. for Hort. Sci., 25-30
- GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H.; MASSON, J.P. (1995): Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems. EC, Brüssel
- GIANINAZZI-PEARSON, V. und GIANINAZZI, S. (1986): Mycorrhizae - a potential for better use of phosphate fertilizer. Fert. Agric. 92, 1-10
- GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S.; TROUVELOT, A. (1985): Evaluation of the infectivity and effectiveness of indigenous vesicular-arbuscular fungal populations in some agricultural soils in Burgundy. Can. J. Bot. 63. 1521-1524
- GLANTE, F. (1988): Isolation und Selektion wachstumsstimulierender VA-Mykorrhizapilze für Mais und Luzerne. Diss., Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg
- GLANTE, F. (1990a): Isolation und Anzucht von effektiven AM-Pilzen aus Sporen und infizierten Wurzeln. Arch. Acker-Pfl.bau Bodenkd., Berlin 34, Nr. 6, 419-428
- GLANTE, F. (1990b): Importance of VA-mycorrhizal fungi on growth and development of arable crops. Zbl. Mikrobiol. 145
- GÖHLER, F. und DREWS, M. (1978): Chemische Betriebslaboratorien in Gewächshausanlagen. IGA-Ratgeber Nr. 71, IGA Erfurt
- GRYNDLER, M.; VOSATKA, M.; VEJSAADOVA, H.; HRSELOVA, H. (1989): Effect of dual inoculation by VAM fungi and rhizosphere bacteria on the growth of strawberry. Abstract, Beltsville Symposium XIV
- HAAS, J.H.; BAR-JOSEF, B.; KRIKUN, J.; BARAK, R.; MARKOWITZ, T.; KRAMER, S. (1987): Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus infestation and phosphorous fertigation to overcome pepper stunting after methylbromide fumigation. Agron. J. 79, 905-910

- HAAS, D.; KEEL, C.; LAVILLE, J.; MAURHOFER, M.; OBERHANSLI, T.; SCHNIDER, U.; VOISARD, C.; WUTHRICH, B.; DEFAGO, G. (1992): Secondary metabolites of *Pseudomonas fluorescens* strain Cha0 involved in the suppression of root diseases. In: Advances in Molecular Genetics of plant-mikrobe interactions. Vol.1, 450-456
- HAAS, J.H.; KRIKUN, J.; BAR-JOSEF, B. (1996): Importance of VA mycorrhiza under semiarid conditions. Z. Angew. Bot., im Druck
- HAIDER, K. (1996): Biochemie des Bodens. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- HALL, I.R. (1988): Potential for exploiting vesicular-arbuscular mycorrhizas in agriculture. In: MIZRAHI, A. (Hrsg.): Biotechnology in Agriculture. Alan R. Liss, New York, 141-174
- HARINIKUMAR, K.M. und BAGYARAJ, D.J. (1988): Effect of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules. Plant Soil 110, 77-80
- HARLEY, J.L. (1989): The significance of mycorrhiza. Mycol. Res. 92, 129-139
- HARLEY, J.L. und SMITH, S.E. (1983): Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, London, New York
- HAYMAN, D.S. (1982): Practical aspects of vesicular-arbuscular mycorrhiza. In: SUBBA RAO, N.S. (Hrsg.): Advances in agricultural microbiology. Oxford and IBM Publ. Co., 325-373
- HAYMAN, D.S. (1982): Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopath. 72, 1119-1125
- HAYMAN, D.S. (1983): The physiology of VA-Mycorrhiza symbioses. Can. J. of Botany 61, 944-963
- HETRICK, B.A.; BOGKUS, W.W.; BLOOM, J. (1984): The role of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the growth of Kansas winter wheat. Can. J. Bot. 62, 735-740
- HIRTE, W.F. (1961): Glycerin-Pepton-Agar, ein vorteilhafter Nährboden für bodenbakteriologische Arbeiten. Zbl. Bakt. II 114
- HIRTE, W.F. (1969a): Die Anwendung der Verdünnungsplattenmethode zur Erfassung der Bodenmikroflora. 2. Mitt.: Der qualitative Nachweis der Bakterien und Aktinomyceten. Zbl. Bakt. II 123, 167-178
- HIRTE, W.F. (1969b): Die Anwendung der Verdünnungsplattenmethode zur Erfassung der Bodenmikroflora. 3. Mitt.: Die Hauptgruppen der heterotrophen Bodenbakterien und ihre systematische Einordnung. Zbl. Bakt. II 123, 403-412
- HÖFLICH, G. (1989): N-Toleranz und Effektivität von *Rhizobium meliloti*- und *Rhizobium trifolii*-Isolaten bei Luzerne bzw. Rotklee. Zbl. Mikrobiol. 144, 363-371
- HÖFLICH, G. (1992): Interrelationships between phytoeffective *Pseudomonas*-bacteria and the growth of crops. Zbl. Mikrobiol. 147, 182-191
- HÖFLICH, G. und GLANTE, F. (1991): Förderung des Pflanzenwachstums ohne zusätzlichen Düngereinsatz. Gartenbau 38, 4
- HÖFLICH, G. und KÜHN, G. (1996): Förderung des Wachstums und der Nährstoffaufnahme bei kruziferen Öl- und Zwischenfrüchten durch inokulierte Rhizosphärenmikroorganismen. Z. Pfl.ern. Bodenkd. 159, 575-581
- HÖFLICH, G. und RUPPEL, S. (1990): Saatgutpillierung bzw. Inkrustierung zur Verlängerung der Überlebensrate von Impfororganismen am Samen und in der Rhizospäre. Zbl. Mikrobiol. 145, 99-106

- HÖFLICH, G.; WOLF, H.J.; RUPPRICH, A. (1987): Bereitstellung und Sterilisation von Torf als Trägersubstrat für Rhizobium-Präparate. Zbl. Mikrobiol. 142, 581-586
- HÖFLICH, G.; GLANTE, F.; LISTE, H.-H.; WEISE, I.; RUPPEL, S.; SCHOLZ-SEIDEL, C. (1992): Phytoeffective combination effects of symbiotic and associative microorganisms on legumes. Symbiosis 14, 427-438
- HÖFLICH, G.; GLANTE, F.; KÜHN, G.; HICKISCH, B. (1993): Phytoeffective Symbiosis in Pea. Zbl. Mikrobiol. 148, 48-54
- HÖFLICH, G.; WIEHE, W.; KÜHN, G. (1994): Plant growth stimulation by inoculation with symbiotic and associative rhizosphere microorganisms. Experientia 50, 897-905
- HÖFLICH, G.; WIEHE, W.; HECHT-BUCHHOLZ, C. (1995): Rhizosphere colonization of different crops with growth promoting *Pseudomonas* and *Rhizobium* bacteria. Microbiol. Res. 150, 139-147
- HÖFLICH, G.; LISTE, H.-H.; KÖHN, S. (1996): Interaktionen ausgewählter Mikroorganismen in der Rhizosphäre von Leguminosen und Mais. Die Bodenkultur 47 (1)
- HÖFLICH, G.; TAPPE, E.; KÜHN, G.; WIEHE, W. (1997): Einfluß assoziativer Rhizosphärenbakterien auf die Nährstoffaufnahme und den Ertrag von Mais. Arch. Acker Pfl.bau Bodenkd. 41, 323-333
- HOWELER, R.H.; SIEVERDING, E.; SAIF, S. (1987): Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. Plant Soil 100, 249-283
- JAGNOW, G.; HÖFLICH, G.; HOFFMANN, K.-H. (1991): Inoculation of non-symbiotic rhizosphere bacteria: possibilities of increasing and stabilizing yields. Angew. Bot. 65, 97-126
- JAHN, M. (1994): Untersuchungen zum Einfluß der arbuskulären Mykorrhizapilze und *Pseudomonas fluorescens* auf Pflanzenentwicklung und Zierwert von *Tagetes erecta* 'Hawaii'. Dipl., Humboldt-Univ. zu Berlin
- JASPER, D.A.; ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. (1989): The loss of VA mycorrhizal infectivity during bauxite mining may limit the growth of *Acarica pulchella* R. Br. . Aust. J. Bot. 37, 33-42
- JAYASANKOV, N.P. und GRAHAM, P.H. (1970): An agar plate method for screening and enumerating pectinolytic microorganisms. Can. J. Microbiol. 16, 1023
- JEFFRIES, P. (1987): Use of mycorrhiza in agriculture. Critical Reviews in Biotechnology 5, CRC Press, Boca Raton, 319-357
- JOHNSON, C.P. und MENGE, J.A. (1981): Mycorrhiza in production of woody landscape plants. Am. Nurseryman, 155 (2), 79-86
- KANG, B.T.; ISLAM, R.; SANDERS, F.E.; AYANABA, A. (1980): Effect of Phosphate fertilization and inoculation with VA-mycorrhizal fungi on performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown on an alfisd. Field Crops Res. 3, 83-84
- KARAGIANNIDIS, N.; NIKOLAON, N.; MATTHEOU, A. (1995): Wirkung dreier VA-Mykorrhizapilze auf Ertrag und Nährstoffaufnahme von drei Unterlagen und einer Tafeltraubensorte. Vitis 34, 85-89
- KAUFMANN, H.-G. (1989): Düngung in der Zierpflanzenproduktion. DLV-Verlag, Berlin
- KLOEPPER, J.W.; LEONG, I.; TEINTZE, M.; SCHROTH, M.N. (1980a): *Pseudomonas* siderophores: A mechanism explaining disease suppressive soils. Curr. Mikrobiol. 4

- KLOEPPER, J.W.; LEONG, I.; TEINTZE, M.; SCHROTH, M.N. (1980b): Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. *Nature* 286, 885-886
- KLOEPPER, J.W.; LIFSHITZ, R.; SCHROTH, M.H. (1988): *Pseudomonas* inoculants to benefit plant protection. *ISI Atlas of Science, Anim. Pl. Sci.*, 60-63
- KLOEPPER, J.W.; SCHIPPERS, B.; BAKKER, P.A.H.M. (1992): Proposed elimination of the term endorhizosphere. *Phytopathology* 82, 726-727
- KÖHLER, W.; SCHACHTEL, G.; VOLESKE, P. (1984): *Biometrie: Einführung in die Statistik für Biologen und Agrarwissenschaftler*. Heidelberger Taschenbücher, Bd. 234, Springer-Verlag
- KOIDE R.T. (1991): Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New. Phytol.* 117, 365-386
- KRAMER, P.J. (1983): *Water relations of plants*. Academic Press, London
- KRIEG, A. und FRANZ, J.M. (1989): *Lehrbuch der biologischen Schädlingsbekämpfung*. Parey-Verlag, Berlin
- KRUCKELMANN, H.W. (1975): Effects of fertilizers, soil, soil tillage and plant species on the frequency of Endogone chlamydospores and mycorrhizal infection in arable soils. In: SANDERS, F.B.; MOSSE, B.; TINKER, P.B. (Hrsg.): *Endomycorrhizas*. Academic Press, London, 511-525
- LAND, S. (1990): Auftreten und Charakterisierung der vesikulär-arbuskulären (VA) Mykorrhiza in intensiv genutzten Ackerböden. Diss., Univ. Hannover
- LEOPOLD, H.J. (1990): Beimpfung von Klee mit VAM und Rhizobium zur Ertrags- und Qualitätssteigerung. Diss., Univ. Gießen
- LINDEMANN, A. (1991): Förderung der vesikulär-arbuskulären (VA) Mykorrhiza durch Rhizosphärenbakterien und Fungizide bei Lein und Gerste. Diss., Univ. Hannover
- LINDERMAN, R.G. (1988): Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopath.* 78, 366-371
- LISTE, H.-H. (1992): Effektivitätserhöhung der *Rhizobium*-Impfung bei Luzerne durch Koinokulation mit *Pseudomonas fluorescens*. Diss., Humboldt-Univ. zu Berlin
- LOVATO, P.E.; HAMMATT, N.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. (1994): Mycorrhization of micropropagated mature wild cherry (*Prunus avium* L.) and common ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Agric. Sci. Finland* 3, 297-302
- LOZÁN, J.L. (1992): *Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler*. Verlag Paul Parey, Berlin
- LYNCH, J.M. und BRAGG, E. (1985): Microorganisms and soil aggregate and stability. In: STEWART, B.A. (Hrsg.): *Advances in soil science*. Vol. 2, Springer Verlag, New York, 133-171
- MÄDER, P. (1996): Stickstoffversorgung durch Mykorrhizapilze. *Ökologie und Landbau* 24, 36
- MARSCHNER, H. (1995): *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Harcourt Brace & Co, London
- MARSCHNER, H. und DELL, B. (1994): Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 159, 89-102
- MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V.; ÇAKMAK, I. (1987): Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *J. Plant Nutrition* 10, 9-16

- MARTIN, P.; GLATZLE, A.; KOLB, W.; OMAI, H.; SCHMIDT, W. (1989): N₂-fixing bacteria in the rhizosphere: Quantification and hormonal effects on root development. Z. Pfl.ern. Bodenk. 152, 237-245
- MARX, D.H. (1975): Mycorrhizae and establishment of trees on strip-mined land. Ohio J. Sci. 75, 288-297
- MARX, D.H. und CORDELL, C.E. (1995): Mycorrhizae: fungal tools for establishing trees on mined-lands. Land and Water, Jul./Aug. 1995, 12-13
- McGONIGLE, T.P. und FITTER, A.H. (1988): Ecological consequences of arthropod grazing on VA mycorrhizal fungi. Proc. Roy. Soc. Edin. 94B, 25-32
- McGRAW, A.C. und SCHENCK, N.C. (1980): Growth stimulation of citrus, ornamental and vegetable crops by selected mycorrhizal fungi. Proc. Flor. State Hort. Soc. 93, 201-205
- MENGE, J.A. (1983): Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. Can. J. Bot. 61, 1015-1024
- MENGE, J.A.; JOHNSON, E.L.V.; PLATT, R.G. (1978): Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. New Phytol. 81, 553-559
- MENGE, J.A.; TINKER, P.B.; STRIBLEY, D.; SNELLGROVE, R. (1985): Inoculum potential - its role in early infection and mycorrhizal efficiency. In: Proc. of 6th North American Conference on Mycorrhizae, 394
- MENGEL, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav-Fischer-Verlag, Jena, 376-379
- MEYER, J.R. und LINDERMAN, R.G. (1986a): Response of subterranean clover to dual inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and a plant growth promoting bacterium, *Pseudomonas putida*. Soil Biol. Biochem. 18, 185-190
- MEYER, J.R. und LINDERMAN, R.G. (1986b): Selective influence on populations of rhizosphere or rhizoplane bacteria and actinomycetes by mycorrhizas formed by *Glomus fasciculatum*. Soil Biol. Biochem. 18, 191-196
- MILLER, L.T. (1982): Simple derivatization method for routine analysis of bacterial whole cell fatty acid methyl esters, including hydroxy acids. J. Clin. Microbiol. 16, 584-586
- MOSSE, B. (1957): Growth and chemical composition of mycorrhizal and nonmycorrhizal apples, Nature 179, London, 922-926
- MOSSE, B. (1973): Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. Ann. Rev. Phytopath. 11
- MOSSE, B. (1981): Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. Hawaii Inst. of Tropical Agriculture and Human Resources, Honolulu, Research Bulletin 194, 5-82
- MÜLLER, I. und HÖFNER, W. (1991): Einfluß der VA-Mykorrhiza auf P-Aufnahme und Regenerationsfähigkeit von Mais (*Zea mays* L.) unter Wasserstreß. Z. Pfl.ern. Bodenk. 154, 321-323
- MÜLLER, J. und MELCHINGER, H. (1964): Methoden der Mikrobiologie. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart
- NÄVEKE, R. und TEPPER, K.P. (1979): Einführung in die mikrobiologischen Arbeitsmethoden. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

- NEILANDS, J.B. und LEONG, S.A. (1986): Siderophores in relation to plant growth and disease. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 37, 187-208
- NEWMAN, L.I. (1966): A method for estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3, 139-145
- NEWMAN, E.I. (1985): The rhizosphere: carbon sources and microbial population. In: FITTER, A.H. (Hrsg.): *Ecological Interactions in Soil, Plants, Microbes and Animals*. Blackwell Scientific, Oxford, 107-121
- NIELSEN, J.D. und JENSEN, A. (1983): Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and uptake of various nutrients as well as uptake ratio of fertilizer P for luzerne. *Plant Soil* 70, 165-172
- NORRIS, J.R.; READ, D.; VARMA, A.K. (1994): *Techniques for Mycorrhizal Research*. Academic Press, Harcourt Brace & Co, London
- PAULITZ, T.C. und LINDERMAN, R.G. (1989): Interactions between fluorescent pseudomonas and VA mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 113, 37-45
- PEÑA, J.I.; SANCHEZ-DIAZ, M.; AGUIRROLEA, J.; BECANA, M. (1988): Increased stress tolerance of nodule activity in the *Medicago-Rhizobium-Glomus* symbiosis under drought. *J. Plant Physiol.* 133, 79-83
- PETER, H.; MARKERT, S.; GERICKE, G. (1959): Die Bestimmung der Sorptionseigenschaften von Böden mit Methylenblau. *Z. für landw. Versuchs- und Untersuchungswesen* 5, 165-172
- PEUSS, H. (1957): Untersuchungen zur Ökologie und Bedeutung der Tabakmykorrhiza. *Die Naturwissenschaften*, 592
- PEUSS, H. (1958): Untersuchungen zur Ökologie und Bedeutung der Tabakmykorrhiza. *Arch. Mikrobiol.* 29, 113-142
- PHILLIPS, J.M. und HAYMAN, D.S. (1970): Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55, 158-160
- PIETSCH, J. und KAMIETH, H. (1991): *Stadtböden: Entwicklungen, Belastungen, Bewertung und Planung*. E. Blottner-Verlag, Taunusstein
- POWELL, C.L. (1982a): Phosphate response curves of mycorrhizal and nonmycorrhizal plants. III. Cultivar effects in *Lotus pedunculatus* Cav. and *Trifolium repens* L.. *N.Z. J. Agric. Res.* 25, 217
- POWELL, C.L. (1982b): Effect of kale mustard crops or white clover to VAM inoculation in pot trial. *N.Z. J. Agric. Res.* 25, 461-464
- POWELL, C.L. und BAGYARAJ, D.J. (1984): *VA Mycorrhiza*. CRC Press, Boca Raton
- POWELL, C.L.; GROTERS, M.; METCALFE, D. (1980): Mycorrhizal inoculation of a barley crop in the field. *N.Z. J. Agric. Res.* 23, 107-109
- POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D.J.; CLARK, G.E.; CALDWELL, K.J. (1985): Hioe with VAM in the greenhouse production of asparagus seedlings. *N. Z. J. Agric. Res.* 28, 293-297
- PUPPI, G.; AZCON, R.; HÖFLICH, G. (1994): Management of positive interactions of AM-fungi with essential groups of soil microorganisms. In: GIANINAZZI, S. und SCHÜEPP, H. (Hrsg.): *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Birkhäuser, Basel, 201

- PUPPI, G.; ISOPI, R.; PENNELLI, B.; FABBRI, P. (1995): Mycorrhizal inoculum as vector of PGPR - A case with sorghum. Abstract, Cost action 821, Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems, Hannover
- REICHENBACH, H. Graf v. (1993): Zur Trockentoleranz von Lein und Tomate durch VA Mykorrhiza. Diss., Univ. Hannover
- REYES; V.G. und SCHMIDT, E.L. (1979): Population densities of *Rhizobium japonicum* strain 123 estimated directly in soil and rhizosphere. Appl. Environ. Microbiol. 37, 854-858
- RENNIE, R.I. (1981): A single medium for the isolation of acetylene-reducing (dinitrogen-fixing) bacteria from soils. Can. J. Microbiol. 27, 8-14
- RIEHM, H. (1982): Bestimmung der Sorptionskapazität des Bodens bei Massenuntersuchung und ihre Bedeutung, insbesondere für die Laktatwerte. Z. f. Pfl.ern. Düngung Bodenkd. 37, 61-74
- RIEHM, H. (1985): Arbeitsvorschrift zur Bestimmung der Phosphorsäure und des Kaliums nach Laktatmethode. Z. f. Pfl.ern. Düngung Bodenkd. 40, 152-156
- RÖMHELD, V. und MARSCHNER, H. (1986): Evidence for a specific uptake system for iron phyto-siderophores in roots of grasses. Plant Physiol. 80, 175-180
- ROTH, C. (1995): Untersuchungen zum Einsatz von Rhizosphären-Mikroorganismen bei Freiland-zierpflanzen, dargestellt am Beispiel von *Tagetes erecta*. Dipl., Humboldt-Univ. zu Berlin
- RUISSEN, M.A. (1982): Development and significance of vesikular-arbuskular Mycorrhizas as influence by agricultural practice. Diss., Univ. Hannover
- RUPPEL, S. (1987): Isolation diazotropher Bakterien aus der Rhizosphäre von Winterweizen und Charakterisierung ihrer Leistungsfähigkeit. Diss., ZALF Müncheberg
- SACHS, L. (1992): Angewandte Statistik - Anwendung statistischer Methoden. Springer-Verlag, Berlin
- SANDERS, F.E. und SHEIKH, N.A. (1983): The development of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in plant root systems. Plant Soil 71, 223-246
- SANYAL, S.K. und De DATTA, S.K. (1991): Chemistry of phosphorus transformations in soil. Adv. Soil Sci. 16, 1-120
- SARIC, M.R.; SARIC, Z.; GOREDARICA, M.; KRISTIC, B.; GANTAR, M.; BARASEVIC, B. (1984): Effect of a specific relationship between wheat cultivar and *Azotobacter* strain on efficiency of Nitrogen fixation. In: SUNDMAN, V. und CHAIRMAN; H. (Hrsg.): 3rd Intern. Symposium on Nitrogen fixation with non-legumes. Helsinki, 2.-8. Sept. 1984
- SARWAR, M.; ASHAD, M.; MARTENS, D.A.; FRANKENBERGER, W.T. (1992): Tryptophan-dependent biosynthesis of auxins in soil. Plant Soil 147, 207-215
- SASSER, M. und MILLER, L.T. (1984): Identification of *pseudomonas* by fatty acid profiling. In: PSALLIDAS, P.G. und ALIVAZATOS, A.S. (Hrsg.): Proc. of the second working group on *Pseudomonas syringae* Pathovars. Hellenic Phytopathological Society Publishers, Athens, 45-46
- SCHACHTSCHABEL, P. und HEINEMANN, C.G. (1974): Beziehungen zwischen den Kaliumgehalten in Böden und in jungen Haferpflanzen. Z. Pfl.ern. Bodenkd. 137, 123-134
- SCHENCK, N.C. (1991): Methods and Principles of Mycorrhizal Research. ASP Press, The American Phytopathological Society, St. Paul

- SCHENCK, N.C. und PEREZ, Y. (1987): Manual for the identification of VA-mycorrhizal fungi. INVAM, Univ. of Florida
- SCHÖNBECK, F.; GRUNEWALDT-STÖCKER, G; ALTEN, H. v. (1994): Mycorrhizae. In: CAMPBELL, C.L. und BENSON, D.M. (Hrsg.): Epidemiology and Management of root disease, Springer-Verlag, Berlin, 65-78
- SCHÜEPP, H. (1994): Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems. Birkhäuser, Basel
- SCHÜEPP, H.; MILLER, D.D.; BODMER, M. (1987): A new technique for monitoring hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi through soil. Trans. Br. Mycol. Soc. 89, 429-435
- SIEVERDING, E. (1980): Einfluß von Temperatur und Bodenfeuchte auf Entwicklung und Effektivität der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza. Diss., Uni. Göttingen
- SIEVERDING, E. und SAIF, S.R. (1984): VA-mycorrhiza management - a new, low cost, biotechnology for crop and pasture production on infertile soils. Discussion paper for CIAT Annual Review
- SIEVERDING, E. (1988): Effect of soil temperature on performance of different VA mycorrhizal fungal isolates with cassava. Angew. Botanik 62, 295-300
- SIEVERDING, E. (1991): Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Schriftenreihe der GTZ, Nr. 224, Bremer Verlag, Eschborn
- SINGH, T.N.; PALEG, L.G.; ASPINALL, D. (1973): Stress metabolism, I. Nitrogen metabolism and growth in the barley plant during water stress. Aust. J. Biol. Sci. 26, 45-56
- SMITH, S.E. und BOWEN, G.D. (1979): Soil temperature, mycorrhizal infection and nodulation of *Medicago truncatula* and *Trifolium subterraneum*. Soil Biol. Biochem. 11, 469-473
- SMITH, S.E. und GIANINAZZI-PEARSON, V. (1988): Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Biol. 39, 221-244
- STRIBLEY, D.P. (1987): Mineral Nutrition. In: SAFIR, G.R. (Hrsg.): Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants, CRC Press, Boca Raton, 59-70
- STRIBLEY, D.P.; TINKER, P.B.; RAYNER, J.H. (1980): Relation of internal phosphorous concentration and plant weight in plants infected by vesicular-arbuscular mycorrhizas. New Phytol. 86, 261-266
- TATE, R.L. III (1995): Soil microbiology. John Wiley and Sons, New York
- THOMPSON, J.P. (1987): Decline of vesicular-arbuscular mycorrhiza in long fallow disorder of field crops and its expression in phosphorous deficiency of sunflower. Aust. J. Agric. Res. 38, 847-867
- TISDALL, J.M. (1991): Fungal hyphae and structural stability of soil. Aust. J. Soil Res. 29, 729-743
- TISDALL, J.M. und OADES, J.M. (1979): Stabilization of soil aggregates by root systems of ryegrass. Aust. J. Soil Res. 17, 429-441
- TISDALL, J.M. und OADES, J.M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33, 141-163
- TOMMERUP, I.C. (1983): Temperature relationship of spore germination and hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil. Trans. Br. Mycol. Soc. 81, 381-387

- TREWAVAS, A.J. (1985): Growth substances, calcium and regulation of cell division. In: BRYANT, J.A. und FRANCIS, D. (Hrsg.): The cell division cycle in plants. Cambridge University Press, Cambridge, 133-156
- TROUVELOT, A.; LOVATO P.E.; GUILLEMIN, J.-P.; GIANINAZZI, S.; GIANINAZZI-PEARSON, V. (1995): Inoculation of horticultural plants with arbuscular endomycorrhizal fungi: some techniques towards sustainable plant production. Abstract COST Action 821, Hannover
- TURNER, N.C. und JONES, M.M. (1980): Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. In: TURNER, N.C. und KRAMER, P.J. (Hrsg.): Adaption of plants to water and high temperature stress. Wiley Interscience, New York, 87-103
- Umweltatlas Berlin (1993): Konzeptkarte der Bodengesellschaften. Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz Abt. III A, Berlin
- VANCURA, V. (1989): Inoculation of plants with *Pseudomonas putida*. In: VANCURA, V. und KUNC, A. (Hrsg.): Interrelationships between microorganisms and plants in soil. Academia, Prague, 185-190
- VANCURA, V.; OROZCO, M.O.; GRAVOVA, O.; PRIKRYL, Z. (1988): Properties of bacteria in the hyphosphere of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Agric. Ecosyst. Environ. 29, 421-427
- VEJSADOVA, H. (1991): The influence of organic and inorganic fertilisation on the indigenous VAM fungi development in roots of Red clover. Poster, 3. ESM, Sheffield
- VOSATKA, M.; GRYNDLER, M.; PRIKRYL, Z. (1992): Effect of the rhizosphere bacterium *Pseudomonas putida*, arbuscular mycorrhizal fungi and substrate composition on the growth of strawberry. Agronomie 12, 859-863
- WACHE, H. (1991): Synthetische Literaturinformation zum Thema: Wachstumsstimulierende Wirkung N₂-fixierender Rhizosphärenmikroorganismen. ZALF Müncheberg
- WALKER, C. (1979): The mycorrhizast and the herbarium: The preservation of specimens from VA-mycorrhizal studies. In: Programm and Abstracts. 4th North American Conference on Mycorrhiza, Fort Collins, Colorado
- WALKER, C. (1992): Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales) - a possible way forward. Agronomie 12, 887-897
- WEBER, E.; SCHMINCKE, B.; FRENS, A.; HÜTTL, R.F. (1995): Mykorrhiza in der Krautschicht von Kippenforsten in der Niederlausitz - Methodische Voruntersuchungen und erste Ergebnisse. In: MERBACH, W. (Hrsg.): Pflanzliche Stoffaufnahme und mikrobielle Wechselwirkungen in der Rhizosphäre, B.G. Teubner Verlagsges., Leipzig
- WERNER, D. (1987): Pflanzliche und mikrobielle Symbiosen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- WEST, H.M. (1995): Soil phosphate status modifies response of mycorrhizal and nonmycorrhizal *Senecio vulgaris* L. to infection by the rust, *Puccinia langenophorae* Cooke. New Phytol. 129, 107-116
- WIEHE, W. und HÖFLICH, G. (1995a): Survival of plant growth promoting rhizosphere bacteria in the rhizosphere of different crops and migration to non-inoculated plants under field conditions in north-east Germany. Microbiol. Res. 150, 201-206

- WIEHE, W. und HÖFLICH, G. (1995b): Establishment of plant growth promoting bacteria in the rhizosphere of subsequent plants after harvest of the inoculated precrops. *Microbiol. Res.* 150, 331-336
- WIEHE, W.; HECHT-BUCHHOLZ, C.; HÖFLICH, G. (1994): Electron microscopic investigations on root colonization of *Lupinus albus* and *Pisum sativum* with two assoziative plant growth promoting rhizobacteria, *Pseudomonas fluorescens* and *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*. *Symbiosis* 17, 15-31
- WIEHE, W.; SCHLOTER, M.; HARTMANN, A.; HÖFLICH, G. (1995): Detection of colonization by *Pseudomonas fluorescens* PsIA12 on inoculated roots of *Lupinus albus* and *Pisum sativum* in greenhouse experiments by immunological techniques. *Symbiosis* 20, 129-145
- WILCOX, H.E. (1991): Mycorrhizae. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; ANDKAFKAFI, U. (Hrsg.): *The Plant Root, the Hidden Half*. Marcel Dekker, New York, 731-765
- WINTER, A.G. (1951): Untersuchungen über die Verbreitung und Bedeutung der Mykorrhiza bei kultivierten Gramineen und einigen anderen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. *Phytopathol. Zeitschrift* 17, 421-432
- WOOD, T. (1992): VA Mycorrhizal fungi: Challenges for commercialisation. *Handb. Appl. Mycol.* 4, 823-847
- YEAGER, T.H.; JOHNSON, C.R.; SCHENCK, N.C. (1990): Einfluß von VA-Mykorrhiza und Nährstoffmengen auf das Wachstum von *Podocarpus* und *Ligustrum*. *J. Env. Hort.* 8, 128-132
- ZIEGLER, H. (1983): Regulation von Wachstum und Differenzierung. In: STRASBURGERS Lehrbuch der Botanik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 379-413
- ZIMMER, W.; ROEBEN, K.; BOTHE, H. (1988): An alternative explanation for plant growth promotion by bacteria of the genus *Azospirillum*. *Planta* 176, 333-342
- ZOBEL, R.W. (1986): Rhizogenetics (root genetics) of vegetable crops. *Hort. Sci.* 21, 956-959
- ZOBEL, R.W. (1991): Root growth and development. In: KEISTER, D.L. und CREGAN, P.B. (Hrsg.): *The rhizosphere and plant growth*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 61-71

Danksagung

Meinen beiden Betreuern, Frau Prof. Dr. habil. G. Höflich und Herrn Prof. Dr. sc. H.-G. Kaufmann, danke ich für die wissenschaftliche Betreuung und für die gewährte Unterstützung meiner Arbeit.

Herrn Dr. H. von Alten vom Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Universität Hannover danke ich für den Aufenthalt in seiner Arbeitsgruppe. Die durchgeführten Versuche, Methoden und Diskussionen waren für die Arbeit förderlich.

Frau Prof. Dr. habil. G. Höflich und ihren Mitarbeitern Frau M. Roth, Frau B. Leske und Frau I. Bär vom Institut für Mikrobielle Ökologie und Bodenbiologie des ZALF Müncheberg sei für die Bereitstellung der Inokulumpräparate und für ihre fachliche Unterstützung bei der Durchführung mikrobiologischer Untersuchungen herzlich gedankt.

Frau S. Sentner gilt ein besonderes Dankeschön für ihre hilfreiche und engagierte Unterstützung bei den Feldversuchen.

Bei Frau Dr. Heisel möchte ich mich für die Durchführung der Prolinuntersuchungen bedanken. Ebenfalls danke ich den technischen Assistentinnen Frau E. Jaeck und Frau Steinberg für die Durchführung von Bodenanalysen.

Der Fotografin Frau Talman danke ich für die sorgfältige fotografische Dokumentation der Versuchspflanzen.

Für die Bereitstellung von Gladiolenknollen bedanke ich mich bei der Firma Winkler aus Gröningen.

Ich danke dem Bezirksamt Köpenick von Berlin, der Abteilung Naturschutz und Grünflächenamt, für die Bereitstellung der Verkehrsinselfläche.

Der Studienabteilung der Humboldt-Universität zu Berlin sei für die zweijährige Finanzierung der Arbeit gedankt. Bei der Fazit-Stiftung Frankfurt/Main bedanke ich mich recht herzlich für die Gewährung eines einjährigen Abschlußstipendiums.

Dank auch an meinen Lebenspartner A. Zunker, der mir während schwieriger Arbeitsphasen hilfreich zur Seite stand.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur angefertigt zu haben.

Wolfsburg, im Januar 1998

.....
Mareile Jahn

Lebenslauf

Personalien

Name: Mareile Jahn
 Geburtsdatum: 23. Oktober 1969
 Geburtsort: Herzberg/Elster
 Familienstand: ledig
 Staatsangehörigkeit: deutsch
 Eltern: Manfred Jahn, Bauingenieur
 Helga Franke, geb. Franke, Kindergärtnerin

Schulbildung

1976 - 1986 Besuch der Polytechnischen Oberschule in Cottbus

Berufsausbildung

1986 - 1989 Berufsausbildung Gärtner Gemüse/Zierpflanzen mit Abitur
 in Coswig b. Dresden

Studium

1989 - 1990 Studium der Pflanzenproduktion an der Humboldt-Universität zu Berlin

1990 - 1993 Studium des Gartenbaues an der Humboldt-Universität zu Berlin

1993 - 1994 Praktikum im Gemüse- und Zierpflanzenbau in Neuseeland

1994 Diplomsemester zum Dipl.-Ing. hort.

seit März 1995 Doktorandin am Institut für Gartenbauwissenschaften
 der Humboldt-Universität zu Berlin

Jan. - März 1996 Arbeitsaufenthalt am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz
 der Universität Hannover

Anhang

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Anhang I	
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis des Hauptteils	101
Abbildungsverzeichnis	101
Tabellenverzeichnis	103
Tabellenverzeichnis des Anhangs	105
Anhang II	
Rezepturen	106
Anhang III	
Einfluß von <i>Glomus intraradices</i> (Isolat 49) und <i>Pseudomonas fluorescens</i> MIGULA auf das Wachstum und den Mykorrhizierungsverlauf von <i>Tagetes-Erecta-Hybriden</i> im Kammerversuch unter Gewächshausbedingungen	108
Anhang IV	
Tabellen des Anhangs	110

Anhang I

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis des Hauptteils

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1 Einfluß von VAM3 auf das Wachstum der Tagetessorte 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996; links Kontrollpflanzen, rechts VAM3-inokulierte Pflanzen zwei Wochen nach Auspflanzung im Freiland	28
Abb. 2 Einfluß von AMP und Bakterien auf die Wurzellänge der Tagetessorte 'Hawaii' zur Endblüte 1995 nach fünf Monaten Vegetationszeit auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), Kontrolle=100%, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	32
Abb. 3 Einfluß von VAM3, PsIB2 und VAM3 mit R39 auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Hawaii' im Verlauf von drei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	34
Abb. 4 Einfluß von VAM3, PsIA12 und VAM3 mit PsIB2 auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Yellow Supreme' im Verlauf von drei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	35
Abb. 5 Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro Pflanze der Tagetessorte 'Yellow Supreme', dem anlehmigen Sand des Versuchsfeldes vier Monate nach Inokulation 1996 entnommen; von links nach rechts : Isolat 49, R39, VAM3 und Kontrolle	36
Abb. 6 Einfluß von AMP und Bakterien auf den Anteil von Pflanzen mit mehr als zehn Knospen bzw. Blüten [%] der Tagetessorte 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 nach sechs Monaten Vegetationszeit auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), $n=100$, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	36
Abb. 7 Einfluß von rifampicinresistenten Bakterien auf Sproß- und Wurzellänge der Gladiolensorte 'Frührot' sechs Wochen nach Inokulation auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, von links nach rechts: Kontrolle, R39, AIA4, PsIA12	40
Abb. 8 Einfluß von Isolat 49, R39 und A1A4 auf die Knospenanzahl pro 30 Pflanzen der Gladiolensorte 'Frührot' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	42
Abb. 9 Einfluß von VAM3 und Bakterien auf die Ausfallrate der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' auf S1-Anzuchtsubstrat im Gewächshaus 1996, $n=100$	48
Abb. 10 Einfluß von VAM3 mit PsIA12 ohne und mit organischer Düngung auf die Sproßlänge von Miscanthus 'Gracillimus' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) von 1995 - 1997, $n=6$, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	51
Abb. 11 Einfluß von VAM3 mit PsIA12 ohne und mit organischer Düngung auf die Triebanzahl pro Pflanze von Miscanthus 'Gracillimus' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995 - 1997, $n=6$, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	51
Abb. 12 Einfluß der Kombination von VAM3 mit PsIA12 ohne und mit mineralischer Düngung auf die Sproßtrockenmasse bei Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1992, $n=90$, Signifikanz nach LSD-Test $\alpha=0,05$	52
Abb. 13 Einfluß von VAM3 und PsIA12 ohne bzw. mit Langzeitdüngung auf den Sproßtrockenmasse-Mehrertrag von Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1992, $n=30$, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	53
Abb. 14 Einfluß von Isolat 49 bzw. VAM3 auf die Mykorrhizierung von Tagetes 'Hawaii' auf nicht beregneten und beregneten anlehmigen Sandböden (Versuchsfeld) sowie auf der Verkehrsinsel 1995, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	55
Abb. 15 Einfluß von Isolat 49 bzw. VAM3 auf die Mykorrhizierung von Tagetes 'Hawaii' auf nicht beregneten und beregneten anlehmigen Sandböden (Versuchsfeld) sowie auf der Verkehrsinsel 1996, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	55
Abb. 16 Wirkung von VAM3 bzw. Isolat 49 auf den Prolingehalt pro 100 g Blattfrischmasse von Tagetes 'Hawaii' 1995 - 1996 auf anlehmigem Sandboden (Versuchsfeld) und extremer Verkehrsinsel, $n=4$, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	57
Abb. 17 Wurzellängsschnitt einer mit Trypanblau gefärbten Tageteswurzel mit typischen interzellulären AMP-Strukturen von <i>Glomus ssp.</i> (VAM3) mit Arbuskeln (A) und Hyphen (H), Vergrößerung 150×	58

	Seite
Abb. 18 Einfluß von AMP und Bakterien auf die Mykorrhizierung von Tagetes 'Hawaii' und Gladiolen 'Frührot' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=6, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	59
Abb. 19 Einfluß von AMP und Bakterien auf die Mykorrhizierung von Tagetes der Sorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=6, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	59
Abb. 20 Einfluß von AMP und Bakterien auf die Mykorrhizierung von Tagetes 1995/96 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=6, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	60
Abb. 21 <i>Glomus intraradices</i> -Chlamydosporen mit Hyphenansätzen (H) und Sporenwand (W), Interferenzaufnahme mit Filter, Vergrößerung 1250×	63
Abb. 22 Pilze und Bakterien der mikrobiellen Wildpopulation der Rhizosphäre im anlehmigen Sandboden (Versuchsfeld) und an den Wurzeln von Tagetes und Gladiolen 1995, n=6	65

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1 Übersicht über Freilandversuche von 1991 bis 1997 auf urbanen anlehmigen Sandböden des Institutsgeländes in Berlin-Köpenick (Versuchsfeld)	15
Tab. 2 Anteile der Bodenstruktur nach dem Teilchendurchmesser (Versuchsfeld), Angaben in [%]	15
Tab. 3 Angaben zu den edaphischen Eigenschaften der Freilandböden (1991 - 1997), Bodenanalyse ¹ (mg/100 g Boden; Bodentiefe 0 - 30 cm)	16
Tab. 4 Sorptionskapazität [mval/100 g Boden] der anlehmigen Sandböden des Versuchsfeldes und der Verkehrsinsel (Bodentiefe 0 - 30 cm)	17
Tab. 5 Angaben zu den edaphischen Eigenschaften des anlehmigen Sandbodens (Versuchsfeld, 1995/96) ohne und mit organischer Düngung und der Sorptionskapazität [mval/100 g Boden], Bodenanalyse ¹ (mg/100 g Boden; Bodentiefe 0 - 30 cm)	18
Tab. 6 Differenzierte mineralische NPK-Düngung auf anlehmigem Sandboden (Versuchsfeld)	18
Tab. 7 Mineralische Grund- und Langzeitdüngung, monatliche Freisetzungsrates der Nährstoffe, Nährstoffverhältnis [%] und Düngermengen [g/m ²]	18
Tab. 8 Kultivierungs- und Anzuchtbedingungen der Wirtspflanzen	19
Tab. 9 Inokulumformen und Inokulationsmethoden der Bakterien und AMP	20
Tab. 10 Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge und Pflanzendurchmesser der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' im Jungpflanzenstadium sieben Wochen nach Inokulation auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=40, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$	29
Tab. 11 Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Sproß- und Wurzeltrockenmasse bei Tagetes 'Hawaii' zur Haupternte im Oktober 1995 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=70, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$	30
Tab. 12 Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Sproß- und Wurzeltrockenmasse bei den Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$	31
Tab. 13 Einfluß inokulierter Bakterien auf die Wurzellänge der Tagetessorte 'Hawaii' nach einem Monat in der Klimakammer auf anlehmigem Sand 1996, n=14, Kontrolle=100%, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	31
Tab. 14 Einfluß von AMP und Bakterien auf die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Hawaii' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	33
Tab. 15 Einfluß von AMP und Bakterien auf die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Hawaii' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	34
Tab. 16 Einfluß von AMP und Bakterien auf die Knospenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Yellow Supreme' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	35
Tab. 17 Übersicht der Wirkungen ausgewählter AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro Pflanze der Tagetessorte 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) zur Haupternte im Oktober 1993 - 1996, n=100, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	37
Tab. 18 Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Sproß-, Knollen-, Brut- und Wurzeltrockenmasse bei Gladiolen der Sorte 'Frührot' im Erntestadium nach vier Monaten Vegetationszeit auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=30, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	38
Tab. 19 Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Sproß-, Knollen-, Brut- und Wurzeltrockenmasse bei Gladiolen der Sorte 'Frührot' im Erntestadium nach vier Monaten Vegetationszeit auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, n=44, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	39
Tab. 20 Einfluß von rifampicinresistenten Bakterien auf Sproßlänge, Sproß- und Knollentrockenmasse von Gladiolen der Sorte 'Frührot' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=6, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	39

Tab. 21	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Knospenanzahl pro 30 Pflanzen der Gladiolensorte 'Frührot' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	41
Tab. 22	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Anzahl farbezeigender und nicht farbezeigender Blütenknospen und auf die Sproßtrockenmasse pro Gladiolensrispe von Gladiolen der Sorte 'Frührot' im Freiland auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, $n=70$, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$	42
Tab. 23	Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Triebanzahl pro Pflanze und Sproßtrockenmasse bei <i>Miscanthus sinensis</i> 'Gracillimus' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, $n=6$, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	43
Tab. 24	Einfluß von AMP und Bakterien auf Sproßlänge, Triebanzahl pro Pflanze, Sproß- und Wurzeltrockenmasse bei <i>Miscanthus sinensis</i> 'Gracillimus' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1997, $n=6$, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	44
Tab. 25	Einfluß von AMP und Bakterien auf Mykorrhizierung ($n=6$), Sproßlänge, Sproßtrockenmasse sowie Knospen- und Blütenanzahl pro Pflanze ($n=75$) der nicht beimpften Folgekultur Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$	46
Tab. 26	Einfluß von VAM3 bzw. PsIA12 auf Sproßlänge und -trockenmasse in Abhängigkeit vom Inokulationstermin bei Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1992, $n=30$, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	47
Tab. 27	Einfluß von VAM3 bzw. Isolat 49 auf Mykorrhizierung, Sproßlänge, Sproß- und Wurzeltrockenmasse, Wurzellänge und Knospenanzahl pro Pflanze von Tagetes 'Hawaii' auf einer Verkehrsinsel 1995/96, $n=45$, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey bzw. Nemenyi $\alpha=0,05$	49
Tab. 28	Einfluß von VAM3 und PsIA12 in Kombination ohne und mit organischer Düngung auf Sproßlänge und Sproßtrockenmasse der Tagetessorte 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1991/92, $n=90$, Differenz zur Kontrolle, Signifikanz nach LSD-Test $\alpha=0,05$	50
Tab. 29	Einfluß von VAM3 und PsIA12 ohne und mit Grund- bzw. Langzeitdüngung auf die Anzahl Blüten pro Pflanze bei Tagetes 'Hawaii' auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1992, $n=30$, Differenz zur Kontrolle, Signifikanz nach Nemenyi- bzw. Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	53
Tab. 30	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Sproßlängenzunahme der Tagetessorte 'Hawaii' in Abhängigkeit von den Niederschlagsmengen von Juli bis August 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), $n=100$	54
Tab. 31	Stoffwechselleistungen wachstumsfördernder Bakterien	56
Tab. 32	Besiedlungsverhalten rifampicinresistenter PsIA12, A1A4 und R39 in der Rhizosphäre von Tagetes und Gladiolen im Freiland auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, $n=6$	61
Tab. 33	Besiedlungsverhalten rifampicinresistenter PsIA12, PsIB2 und R39 in der Rhizosphäre von Tagetes und Gladiolen im Freiland auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, $n=6$	62
Tab. 34	Besiedlungsverhalten rifampicinresistenter PsIA12 und PsIB2 in der Rhizosphäre der nicht inokulierten Folgekultur Tagetes ein Jahr nach Erstbeimpfung im Gefäß unter Gewächshausbedingungen 1997, $n=6$	62
Tab. 35	Autochthone AMP-Sporenanzahl pro 100 g Freilandboden (anlehmiger Sand, Versuchsfeld) zu verschiedenen Jahreszeiten 1995/96, $n=6$, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	63
Tab. 36	MPN der autochthonen AMP des anlehmigen Sandbodens im Frühjahr und Herbst 1995/96, $n=6$	64
Tab. 37	Pilze und Bakterien der mikrobiellen Wildpopulation im anlehmigen Sandboden (Versuchsfeld) und an den Wurzeln von Tagetes und Gladiolen, $n=6$	64
Tab. 38	Übersichtstabelle zum Einfluß arbuskulärer Mykorrhizapilze und assoziativer Rhizosphärenbakterien auf das vegetative Wachstum von Tagetes der Sorte 'Hawaii', Gladiolen der Sorte 'Frührot' und Miscanthus der Sorte 'Gracillimus' in zwei Jahren auf anlehmigem Sand, Signifikanzen zur Kontrolle	69

Tabellenverzeichnis des Anhangs

		Seite
Tab. A1	Einfluß von <i>Glomus intraradices</i> (Isolat 49) und <i>Pseudomonas fluorescens</i> MIGULA (Ps. fl. MIGULA) auf die Sproß- und Wurzel-Länge bzw. -Frischmasse von Tagetes im Kammersystem im Gewächshaus auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=36, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	109
Tab. A2	Einfluß von <i>Glomus intraradices</i> (Isolat 49) und <i>Pseudomonas fluorescens</i> MIGULA (Ps. fl. MIGULA) auf den Mykorrhizierungsverlauf von Tagetes nach 10, 14, 21, 28, 35 und 41 Tagen im Kammersystem im Gewächshaus auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=20, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$	109
Tab. A3	Edaphische Eigenschaften der Anzuchtböden im Gewächshaus von 1991 - 1996, Bodenanalyse [†] (mg/100 g Boden; Bodentiefe 0 - 30 cm)	110
Tab. A4	Düngung im Zeitraum von 1991 - 1996	110
Tab. A5	Pflanzenschutzmaßnahmen bei Gladiolen und Tagetes im Zeitraum von 1991 - 1996	111
Tab. A6	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro Pflanze der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$	111
Tab. A7	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Anzahl Pflanzen mit 0 bis 10 bzw. 11 bis 30 Knospen pro Pflanze der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	111
Tab. A8	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Anzahl Pflanzen mit 0 bis 10 bzw. 11 bis 30 Blüten pro Pflanze der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	112
Tab. A9	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen bei Tagetes 'Hawaii' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	112
Tab. A10	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetes-sorte 'Hawaii' im Verlauf von drei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	113
Tab. A11	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetes-sorte 'Yellow Supreme' im Verlauf von drei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	113
Tab. A12	Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro 30 Pflanzen bei Gladiolen der Sorte 'Frührot' im Verlauf von zwei Wochen 1995 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$	114

Anhang II

Rezepturen

Äthanol-Formaldehyd-Eisessig-Gemisch (AFE)

Äthanol 90 ml

35 - 40 % Formaldehyd 5 ml

100 % Eisessig 5 ml

AFE-Lösung maximal 24 h einwirken lassen, dann auf 50 % Äthanol, letztlich auf 70 % Äthanol verdünnen.

Quantifizierung der Mykorrhizabildung modifiziert nach PHILLIPS und HAYMAN (1970)

1. Wurzeln 24 - 96 h in 10 % KOH bei Raumtemperatur oder bei 40 °C im Trockenschrank einlegen
2. Wurzeln 30 min in 10 % HCL ansäuern
3. 3 min in 0,05 % Trypanblaulösung bei 50 °C färben
4. Wurzeln in *Aqua destillata* spülen
5. Ausdifferenzierung der Färbung in reiner Milchsäure und Aufbewahrung bei 4 °C

Trypanblaulösung:

Glycerin 70,0 ml

Milchsäure 70,0 ml

Aqua destillata 70,0 ml

Trypanblau 0,105 g

Ringerlösung nach COLLINS (1964)

NaCl AR 4,30 g/ml

KCl AR 0,15 g/ml

CaCl₂ AR 0,24 g/ml

Na₂O₃S₂ · 5H₂O 1,00 g/ml

Na₂O₃S₂ wasserfrei 0,65 g/ml

Aqua destillata 500,00 ml

pH-Wert 6,60

Präparationsmedium (PVL) nach WALKER (1979)

1. Stocksolution

15 g Polyvinylalkohol-Granulat (50 - 75 % hydrolysiert) werden in 100 ml *Aqua destillata* im Wasserbad bei 80 °C lösen.

2. PVL-Mounting medium

56 Teile Stocksolution

22 Teile Milchsäure

22 Teile flüssiges Phenol

Die Lösung bei 4 °C aufbewahren.

Anzucht- und Untersuchungsmedien der Bakterien und Pilze

Glycerin-Pepton-Medium nach HIRTE (1961)

Glycerol 20,00 g/ l

Pepton 2,50 g/ l

K₂HPO₄ 1,00 g/ l

NaCl 3,00 g/ l

MgSO₄ · 7H₂O 0,25 g/ l

CaCO₃ 0,04 g/ l

FeSO₄ · 7H₂O 0,01 g/ l

Hefeextrakt 2,00 g/ l

Aqua destillata 1,00 l

Agar-Agar (für festes Medium) 15,00 g/ l

pH-Wert 6,90

Nitrogenaseaktivität ex planta

CC-Medium (halbflüssig) nach RENNIE (1981)

Mannit	5,00 g/ l
Saccharose	5,00 g/ l
50 % Natriumlaktat	0,50 ml
Hefeextrakt	0,10 g/ l
K ₂ HPO ₄	0,80 g/ l
KH ₂ PO ₄	0,20 g/ l
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0,20 g/ l
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0,05 g/ l
NaCl	0,10 g/ l
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	25,00 mg/ l
FeSO ₄ · 7H ₂ O	10,00 mg/ l
Na ₂ Fe EDTA	28,00 mg/ l
Biotin	5,00 µg/ l
Aminobenzoessäure	10,00 µg/ l
Agar-Agar	1,80 g/ l
<i>Aqua destillata</i>	1,00 l
pH-Wert	7,00

Nitratreduktaseaktivität ex planta

Nährbouillon nach MÜLLER und MELCHINGER (1964)

Fleischextraktwasser	1,00 l
Glukose	5,00 g/ l
Pepton	10,00 g/ l
NaCl	5,00 g/ l
KNO ₃	1,00 g/ l
pH-Wert	7,40

Glukose-Asparagin-Agar nach DOMEY (1987)1. Grundmedium

Glukose	10,00 g/ l
Asparagin	1,00 g/ l
Hefeextrakt	0,20 g/ l
K ₂ SO ₄	0,20 g/ l
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0,20 g/ l
Agar-Agar (für festes Medium)	20,00 g/ l
<i>Aqua destillata</i>	1,00 l
pH-Wert	6,80 - 7,20

2. Phosphate

CaCl ₂ · 6H ₂ O	3,30 g
Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O	3,80 g
<i>Aqua destillata</i>	15,00 ml

Komplexmedium nach NÄVEKE und TEPPER (1979)

Fleischextrakt	10,00 g/ l
Pepton	10,00 g/ l
NaCl	5,00 g/ l
Agar-Agar	18,00 g/ l
<i>Aqua destillata</i>	1,00 l
pH-Wert	7,00

Biomalz-Agar zur Anzucht von Pilzen

Biomalz	30,00 g/ l
Agar-Agar	20,00 g/ l
Streptomycin	0,03 g/ l
<i>Aqua destillata</i>	1,00 l
pH-Wert	5,80

Anhang III

Einfluß von *Glomus intraradices* (Isolat 49) und *Pseudomonas fluorescens* MIGULA auf das Wachstum und den Mykorrhizierungsverlauf von *Tagetes-Erecta-Hybriden* im Kammerversuch unter Gewächshausbedingungen

Zielstellung

Der Einfluß von *Glomus intraradices* (Isolat 49) und *Pseudomonas fluorescens* MIGULA einzeln und kombiniert auf das Pflanzenwachstum und den Mykorrhizierungsverlauf von *Tagetes-Erecta-Hybriden* wurde durch Nutzung eines Kammersystems im Gewächshaus auf anlehmigem Sand der Versuchsfläche Berlin-Köpenick geprüft. Die Untersuchungen dienten der Analyse indirekter Ausbreitung autochthoner und inokulierter AMP in den Kammern.

Material und Methoden

Die Anzucht von *Pseudomonas fluorescens* MIGULA (LINDEMANN, 1991) erfolgte in flüssigem Komplexmedium (NÄVEKE und TEPPER, 1979). Die Suspension wurde 48 - 72 h bei 28 °C inkubiert. Pro Kammer wurden 15 Samen ausgesät. Die Anzucht- und Kulturbedingungen für *Tagetes* sind in Tab. 8. des Hauptteils dargestellt. Es erfolgte eine Zusatzbelichtung von 14 h/Tag (Lichtstärke 10000 lux). Zu mehreren Terminen wurde die Mykorrhizierung (PHILLIPS und HAYMAN, 1970), die Sproß- und Wurzellänge sowie -frischmassen von *Tagetes* erfaßt. Der Aufbau der Kammersysteme mit einer Substratkapazität von 450 ml/Kammer erfolgte modifiziert nach SCHÜEPP et al. (1987). Um eine Diffusion von Wirkstoffen in die Bodenlösung benachbarter Kammern zu vermeiden, wurden PVC-Platten eingebaut. 22,5 ml *Glomus intraradices*-versetzter Blähton (5 Vol.-%) wurde mit dem anlehmigen Sand vermischt. Die *Pseudomonas fluorescens* MIGULA-Suspension wurde in einer Konzentration von 10^6 cfu je g Samen inokuliert.

Ergebnisse

Einfluß von *Glomus intraradices* und *Pseudomonas fluorescens* MIGULA auf das Wachstum von *Tagetes*

Die kombinierte Inokulation von *Glomus intraradices* (Isolat 49) und *Pseudomonas fluorescens* MIGULA führte zu signifikant erhöhten Sproß- und Wurzellängen bzw. -frischmassen und zur zusätzlichen Förderung des Wachstums bei *Tagetes* im Vergleich zur Einzelinokulation (Tab. A1). Durch die kombinierte Inokulation wurde eine beschleunigte symbiontische Pflanzenentwicklung erzielt. *Tagetes* gewannen dadurch zeitiger Wachstumsvorteile.

Tab. A1: Einfluß von *Glomus intraradices* (Isolat 49) und *Pseudomonas fluorescens* MIGULA (Ps. fl. MIGULA) auf die Sproß- und Wurzel-Länge bzw. -Frischmasse von Tagetes im Kammersystem im Gewächshaus auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=36, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

Varianten	Länge		Frischmasse	
	Sproß	Wurzel	Sproß	Wurzel
Kontrolle	[2,7] ¹	[2,0] ¹	[0,31] ²	[0,12] ²
Isolat 49	1,1	1,0	-0,01	0,03
Ps. fl. MIGULA	1,5	3,3	0,08	0,09
Kombination	1,9	2,0	0,17	0,13
Tukey; 0,05	0,9	1,3	0,18	0,06

¹ cm/Pflanze

² g/Pflanze

Einfluß von *Glomus intraradices* und *Pseudomonas fluorescens* MIGULA auf die Mykorrhizierung

Die kombinierte Inokulation von *Glomus intraradices* (Isolat 49) und *Pseudomonas fluorescens* MIGULA führte zur schnelleren Verpilzung der Wurzeln und zur höchsten Mykorrhizierung im Verlauf der Pflanzenentwicklung. Bei den schnell mykorrhizierenden Tagetes förderte die Beimpfung mit *Pseudomonas fluorescens* MIGULA eine beschleunigte Besiedlung der Wurzeln mit der autochthonen Mykorrhiza des anlehmigen Sandbodens. In der frühen Wachstumsphase, 10 bis 21 Tage nach der Inokulation, stieg die Mykorrhizierung aller inokulierten Pflanzen kontinuierlich an. Tagetes konnte diesen Entwicklungsvorsprung über einen Monat aufrechterhalten. Nach 35 d war die maximale Mykorrhizierung mit der Plateau-Phase erreicht. Danach nahmen die Inokulationseffekte ab.

Tab. A2: Einfluß von *Glomus intraradices* (Isolat 49) und *Pseudomonas fluorescens* MIGULA (Ps. fl. MIGULA) auf den Mykorrhizierungsverlauf von Tagetes nach 10, 14, 21, 28, 35 und 41 Tagen im Kammersystem im Gewächshaus auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, n=20, Differenz zur Kontrolle, Signifikanztest nach Tukey $\alpha=0,05$

Varianten	Mykorrhizierungsverlauf nach					
	10 Tagen	14 Tagen	21 Tagen	28 Tagen	35 Tagen	41 Tagen
Kontrolle	[0] ¹	[1] ¹	[20] ¹	[40] ¹	[60] ¹	[60] ¹
Isolat 49	4	18	30	30	22	15
Ps. fl. MIGULA	2	9	25	25	10	5
Kombination	6	24	32	40	28	24
Tukey; 0,05	3	7	8	11	7	7

¹ %

Anhang IV

Tabellen des Anhanges

Tab. A3: Edaphische Eigenschaften der Anzuchtböden im Gewächshaus von 1991 - 1996, Bodenanalyse¹ (mg/100 g Boden; Bodentiefe 0 - 30 cm)

Wirtspflanze	Zeit	Jahr		Zusammensetzung	Nt	P ₂ O ₅	K ₂ O	Salz g/l	pH-Wert
Tagetes	Aussaat	1991/92 1993	Einheitserde Typ S1 Erdenmischung	10 % Tonmudde 20 % Freilanderde 40 % Hochmoortorf 30 % Niedermoortorf	10	50	120	0,5	5,5
		1995	Einheitserde Typ 0	Fa. Patzer KG	9	0,9	2,2	1,5	5,8
		1996	Einheitserde Typ P	Fa. Patzer KG	13	0,6	20,0	1,5	6,4
Tagetes	Pikieren	1995	Floraton 3 Erdenmischung	10 % Sand 20 % TKS1 70 % Lehm	12	19,1	87,1	1,4	5,7
					14	17,4	39,0	1,1	7,5
		1996	Floragard (TKS1)		8	0,9	3,8	1,3	5,5
Miscanthus	Pflanzung		Humussubstrat	Fa. Klasmann-Deilmann	9,8	5,9	31,5	1,1	4,8
		1995	Polyhum Lehm		4,9	17,4	39,0	1,1	7,5

Tab. A4: Düngung im Zeitraum von 1991 - 1996

Zeitpunkt	Standort	Kultur	Mittel	Zusammensetzung [%]	Düngermenge [g/l]
1996	Gewächshaus	Tagetes	Wuxal-Normal	12 N: 4 P:6 K	2l
1991/96			Wopil	1 N:0,4 P:1,3 K	2
			Volldünger S1	1 N:0,2 P: 2,9 K	2
1991/96	Freiland	Tagetes	MANA Lin B	8 N, 12 P ₂ O ₄ , 24 K ₂ O, 4 MgO	7
	Versuchsfeld	Gladiolen			
	Verkehrinsel	Tagetes			
1995	Freiland	Miscanthus	Ausgleichsdüngung schwefelsaurer Kalk Ammoniumnitrat	42 % K	2
				28 % N	2l

Tab. A5: Pflanzenschutzmaßnahmen bei Gladiolen und Tagetes im Zeitraum von 1991 - 1996

Jahr	Pflanze	Wirkstoff	Anwendung	Mittel	Menge [%]
1991	Tagetes	Azocyclotin	gegen Spinnmilben (<i>Tetranychus urticae</i>)	Peropal	0,1
1995 1996	Gladiolen	Parathionmethyl	protektiv gegen Gladiolen- blasenfuß <i>Taeniothrips simplex</i> (Mor.)	Wofatox-Konzentrat 50 (Fa. Chemiekombinat Bitterfeld)	0,035

Tab. A6: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro Pflanze der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanztest nach Nemenyi $\alpha=0,05$

Varianten	Blütenanzahl/Pflanze	
	Tagetes 'Hawaii'	Tagetes 'Yellow Supreme'
Kontrolle	5,2	5,7
Isolat 49	6,5	9,6
VAM3	6,3	8,9
PsIA12	6,9	10,4
PsIB2	6,8	9,6
PsI2	7,1	11,3
R39	7,0	9,1
AIA4	6,8	9,3
VAM3+PsIA12	6,7	10,0
VAM3+PsIB2	6,6	9,9
VAM3+PsI2	6,2	10,5
VAM3+R39	6,5	10,0
VAM3+AIA4	6,0	9,9

Tab. A7: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Anzahl Pflanzen mit 0 bis 10 bzw. 11 bis 30 Knospen pro Pflanze der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Anzahl Pflanzen mit			
	Tagetes 'Hawaii'		Tagetes 'Yellow Supreme'	
	0 bis 10 Knospen	11 bis 30 Knospen	0 bis 10 Knospen	11 bis 30 Knospen
Kontrolle	89	10	82	14
Isolat 49	84	12	61	26
VAM3	88	9	78	38
PsIA12	89	13	56	40
PsIB2	81	10	55	38
PsI2	91	13	55	49
R39	76	20	73	40
AIA4	77	10	72	41
VAM3+PsIA12	80	15	70	36
VAM3+PsIB2	76	22	60	43
VAM3+PsI2	85	12	60	33
VAM3+R39	79	19	64	35
VAM3+AIA4	85	12	94	45

Tab. A8: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Anzahl Pflanzen mit 0 bis 10 bzw. 11 bis 30 Blüten pro Pflanze der Tagetessorten 'Hawaii' und 'Yellow Supreme' zur Haupternte im Oktober 1996 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), n=100, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Anzahl Pflanzen mit			
	0 bis 10 Blüten Tagetes 'Hawaii'	11 bis 30 Blüten	0 bis 10 Blüten Tagetes 'Yellow Supreme'	11 bis 30 Blüten
Kontrolle	87	12	84	10
Isolat 49	77	19	60	27
VAM3	78	19	74	32
PsIA12	83	19	54	42
PsIB2	74	17	57	36
PsI2	80	24	62	42
R39	79	17	81	32
AIA4	70	17	75	38
VAM3+PsIA12	76	19	67	39
VAM3+PsIB2	76	22	64	39
VAM3+PsI2	78	19	49	43
VAM3+R39	81	17	60	40
VAM3+AIA4	79	18	97	42

Tab. A9: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen bei Tagetes 'Hawaii' im Verlauf von zwei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1995, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Blütenanzahl pro 100 Pflanzen			
	4.8.1995	9.8.1995	14.8.1995	19.8.1995
Kontrolle	1	1	1	5
VAM3	2	6	8	20
PsIA12	5	10	16	31
PsIB2	3	6	10	15
PsI2	3	4	4	14
R39	2	3	5	13
AIA4	0	3	5	10
VAM3+PsIA12	3	5	6	12
VAM3+PsIB2	0	2	4	9
VAM3+PsI2	0	0	0	3
VAM3+R39	5	8	10	13
VAM3+AIA4	1	5	7	10
PsIB2+R39	5	13	16	22
PsIB2+AIA4	4	7	13	22
PsIA12+R39	2	6	9	14
PsIA12+AIA4	2	9	12	17

Tab. A10: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Hawaii' im Verlauf von drei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Blütenanzahl pro 100 Pflanzen			
	26.07.1996	01.08.1996	08.08.1996	14.08.1996
Kontrolle	1	4	10	14
VAM3	12	18	22	34
Isolat 49	17	22	32	33
PsIA12	11	21	22	32
PsIB2	19	24	31	36
PsI2	16	28	31	38
R39	14	29	31	36
AIA4	10	23	23	38
VAM3+PsIA12	10	22	26	39
VAM3+PsIB2	16	28	30	36
VAM3+PsI2	8	25	28	31
VAM3+R39	25	28	29	39
VAM3+AIA4	13	27	36	38

Tab. A11: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro 100 Pflanzen der Tagetessorte 'Yellow Supreme' im Verlauf von drei Wochen auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld) 1996, Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Blütenanzahl pro 100 Pflanzen			
	26.07.1996	01.08.1996	08.08.1996	14.08.1996
Kontrolle	6	22	27	29
VAM3	38	38	38	39
Isolat 49	26	28	32	35
PsIA12	37	40	40	40
PsIB2	32	37	39	40
PsI2	36	38	38	40
R39	34	35	36	38
AIA4	34	38	39	40
VAM3+PsIA12	39	40	40	40
VAM3+PsIB2	36	37	47	47
VAM3+PsI2	31	32	32	46
VAM3+R39	38	39	39	40
VAM3+AIA4	37	38	39	40

Tab. A12: Einfluß von AMP und Bakterien auf die Blütenanzahl pro 30 Pflanzen bei Gladiolen der Sorte 'Frührot' im Verlauf von zwei Wochen 1995 auf anlehmigem Sand (Versuchsfeld), Signifikanz nach Chiquadrat-Test $\alpha=0,05$

Varianten	Blütenanzahl pro 30 Pflanzen		
	26.7. 1995	28.7. 1995	31.7. 1995
Kontrolle	1	0	2
Isolat 49	6	1	3
VAM3	3	1	2
PsIA12	6	4	3
PsIB2	5	4	5
PsI2	3	0	3
R39	1	1	2
AIA4	1	0	6
VAM3+PsIA12	3	0	2
VAM3+PsIB2	5	1	3
VAM3+PsI2	6	1	0
VAM3+R39	3	0	3
VAM3+AIA4	4	0	2
PsIB2+R39	0	0	2
PsIB2+AIA4	0	0	0
PsIA12+R39	1	1	0
PsIA12+AIA4	0	0	3